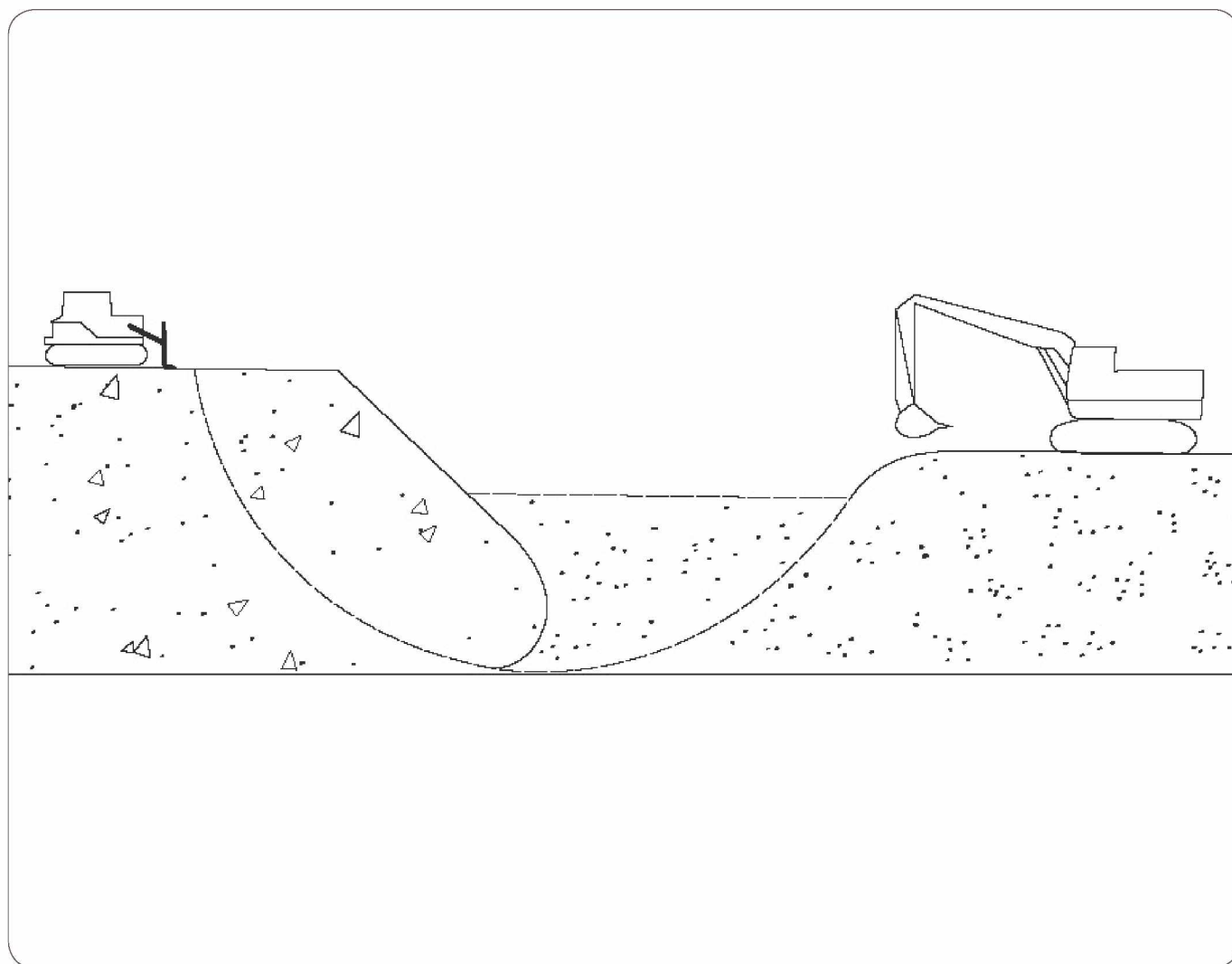


Massanvaihdon suunnittelu

TIEN POHJARAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJEET



Massanvaihdon suunnittelu

Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet

Liikenneviraston ohjeita 11/2011

Liikennevirasto

Helsinki 2011

Kannen kuva: Liikenneviraston kuva-arkisto

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-663X
ISBN 978-952-255-676-9

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-255-677-6

Kopijyvä Oy
Kuopio 2011

Liikennevirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 020 637 373

Tieosasto

Vastaanottaja
ELY-keskusten Liikenne- ja infrastruktuuri
- vastualueet,
Liikenneviraston investointi- ja
kunnossapitotoimialat

Säädösperusta
Maantielaki 109 §

Korvaa/muuttaa
Massanvaihto TIEL 3200127

Kohdistuvuus
Tiehallinto

Voimassa
1.6.2011 - toistaiseksi

Asiasanat

pohjarakenteet, pohjarakennus, massanvaihto kaivamalla, massanvaihto pengertämällä, massatalous, läjitys

Massanvaihdon suunnittelu

Tässä ohjeessa esitetään yleiset vaatimukset massanvaihdon suunnittelulle ja mitoitukselle.

Ohjetta sovelletaan eurokoodijärjestelmässä, joka on otettu käyttöön Liikenneviraston väylähankkeiden suunnittelussa 1.6.2010 alkaen. Geo-ohjeistuksen hierarkiaa on tarkemmin selostettu ohjeen luvussa 1.

Tämä ohje koskee vain maanteiden suunnittelua ja mitoitusta. Muiden teiden ja väylien suunnittelussa ohjetta voidaan käyttää soveltuvin osin.

Yksikön päällikkö
Taitorakentaminen


Antti Rytkönen

Geoasiantuntija


Pentti Salo

LISÄTIETOJA
Pentti Salo
Liikennevirasto, tieosasto
puh. 020 637 373

LIITE	Ohjejulkaisu
TIEDOKSI	<p>Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL</p> <p>Rakennusteollisuus RT</p> <p>Infra ry</p> <p>Suomen Kuntaliitto</p> <p>Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut</p> <p>VTT</p> <p>G10 -kaupungit</p> <p>Tie- ja geokonsultit</p> <p>Ohjeen laatijat ja työhön osallistuneet asiantuntijat</p> <p>Liikenneviraston investointi- ja kunnossapitotoimialan osastot, kirjasto</p> <p>Rakennuttamisosaston ja Väylätekniikkaosaston yksiköt</p> <p>Liikenneviraston ja ELY-keskusten geoasiantuntijat</p>

Esipuhe

Tämän ohjeen pääkirjoittajana oli Essi Hartman Pöyry Finland Oy:stä. Laatimistyöryhmään kuuluivat lisäksi Leena Korkiala-Tanttu Pöyry Finland Oy:stä (1.8.2010 jälkeen Aalto-yliopisto) ja Kari Fagerholm Pöyry Finland Oy:stä. Työtä ovat ohjanneet Pentti Salo ja Tiina Perttula Liikennevirastosta. Työn valmisteluun ovat osallistuneet myös ohjeluonnoksen lausuntokierroksella kommentteja esittäneet suunnittelijat.

Helsingissä toukokuussa 2011

Liikennevirasto
Investointi/Taitorakentaminen

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
1.1	Ohjeen soveltamisala	8
1.2	Suunnittelussa käytettävät ohjeet	8
1.3	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL)	9
2	MENETELMÄKUVAUKSET	10
2.1	Yleistä	10
2.2	Massanvaihtomenetelmän valinta	10
2.3	Massanvaihto kaivamalla	10
2.4	Massanvaihto pengertämällä	11
2.5	Vesistöpenkereet	12
2.6	Muut massanvaihdon varaan tehtävät rakenteet	12
2.7	Kalusto	12
3	LÄHTÖTIEDOT	14
4	MASSANVAIHTOKAIVANNON TÄYTTÖ	15
4.1	Materiaalit	15
4.1.1	Täyttömateriaali	15
4.1.2	Kiilausmateriaali	16
4.2	Täytön tiivistys	16
5	MASSANVAIHTO KAIVAMALLA	17
5.1	Massanvaihtokaivanto	17
5.1.1	Kaivannon mitoitus	17
5.1.2	Kaivussyvyys	17
5.1.3	Kaivumenetelmät	17
5.1.4	Kaivannon kuivatus	19
5.2	Osittainen massanvaihto	19
6	MASSANVAIHTO PENGERTÄMÄLLÄ	21
6.1	Massanvaihtopenger	21
6.1.1	Penkereen mitoitus	21
6.1.2	Alkukaivannon mitoitus	21
6.1.3	Pengerrysmenetelmät	21
6.1.4	Ylös ja sivulle nousseet maat	24
6.1.5	Esipehmentäminen	24
6.2	Täytön onnistumisen tarkkailu	25
7	MASSATALOUS	26
7.1	Hanketasoinen tarkastelu	26
7.2	Kohdekohtainen tarkastelu	26
7.3	Läjitykset	26
7.3.1	Läjityksen suunnittelu	26
7.3.2	Läjitykset tierakenteiden yhteydessä	27
7.3.3	Erilliset läjitysalueet	27
7.3.4	Kuljetusten huomioon otto suunnittelussa	28

8	MASSANVAIHDON LIITTÄMINEN MUIHIN RAKENTEISIIN JA RAKENTEEN LEVENTÄMINEN	29
8.1	Massanvaihdon liittäminen muihin pohjanvahvistuksiin	29
8.2	Tiepenkereen leventäminen	31
9	TYÖNSUORITUKSEN JA LOPPUTULOKSEN VALVONTA	32
9.1	Materiaalimenekki	32
9.2	Painumat ja sivusiirtymät	33
9.3	Poikkileikkausmuoto	34
10	MASSANVAIHDON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	37
10.1	Yleistä	37
10.2	Massanvaihtokaivannon ympäristövaikutukset	37
10.3	Pohjaantäyttöpenkereen ympäristövaikutukset	38
10.4	Rakenteet massanvaihtoalueella	39
10.5	Maanotto ja kuljetukset	40
10.6	Vesistöt	40
10.7	Pohjavedenpinnan aleneminen	40
11	TYÖTURVALLISUUS	41
12	RISKIENHALLINTA	42
13	SUUNNITELMA-ASIAKIRJAT JA SUUNNITELMIEN ESITYS	43
	KIRJALLISUUS	44
	LIITTEET	
Liite 1	Kalustokuvaukset	
Liite 2	Räjäytykset	
Liite 3	Esimerkkejä toteutetuista kohteista	

1 Johdanto

1.1 Ohjeen soveltamisala

Tässä julkaisussa esitetään suunnitteluohjeet tiehankkeiden massanvaihtojen suunnitteluun kaivamalla ja pengertämällä tapahtuvilla menetelmillä.

Ohjeessa ei käsitellä pilaantuneille maille tehtäviä massanvaihtoja.

1.2 Suunnittelussa käytettävät ohjeet

Liikennevirasto on ottanut vuoden 2010 aikana käyttöön kansainväliset Eurokoodit. Eurokoodit on laadittu käytettäväksi erityisesti kantavien rakenteiden suunnittelussa, mutta ne on otettu käyttöön myös maarakenteiden suunnittelussa. Eurokoodijärjestelmään kuuluvat eurokoodeja täydentävät kansalliset liitteet.

Maarakenteiden suunnittelussa käytetään hyväksi geoteknistä suunnittelua koskevaa Eurokoodi 7:n osaa 1 ja Liikenne- ja viestintäministeriön siihen laatimaa kansallista liitettä¹, jota sovelletaan maanteiden ja muiden LVM:n alaisten väylien (rautatiet, vesiväylät) suunnittelussa ja rakentamisessa.

Suunnittelujärjestelmää täydentävät Liikenneviraston ohjeet:

- Eurokoodin 1997-1 ja kansallisen liitteen (LVM) soveltamisohje NCCI 7
- ohje Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet TIEH 2100002-01.

Ohje Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet TIEH 2100002-01 on toistaiseksi voimassa kuitenkin siten, että ristiriitatapauksessa, kuten varmuuslukujen osalta pätevät LVM:n kansallinen liite, standardi ja soveltamisohje tässä järjestyksessä.

Em. ohjekokonaisuus pätee suhteessa tähän ohjeeseen.

Muita massanvaihdon suunnittelussa käytettäviä ohjeita ovat:

- Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 9/2010
- Geotekniset laskelmat TIEH 2100018-v-03
- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset TIEH 2100057-08

Em. ohjeet ovat geoteknisiä suunnitteluohjeita. Kaikki pohjarakentamista koskevat ohjeet ja tietekniset suunnitteluohjeet on lueteltu Liikenneviraston ohjeluetelossa.

Suunnittelun tulee perustua tieteknisen ja geoteknisen suunnittelun yhteensovittamiseen, jolloin ratkaisuja arvioidaan molemmista näistä näkökulmista ja otetaan huomioon tekniset, taloudelliset, turvallisuus- ja ympäristövaikutukset.

¹ Ympäristöministeriö on laatinut talonrakentamista koskevan kansallisen liitteen, jonka sisältö poikkeaa LVM:n kansallisen liitteen sisällöstä. YM:n kansallista liitettä ei käytetä Liikenneviraston töissä.

1.3 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL)

InfraRYL 2010 sisältää kaksi osaa:

- toiminnalliset laatuvaatimukset ja
- tekniset laatuvaatimukset, sisältäen myös työlle esitettävä vaatimukset (yleiset työselostukset)

Liikennevirasto on ottanut käyttöön InfraRYL:n yleiset tekniset laatuvaatimukset siten, että sopimusasiakirjoissa viitataan aina InfraRYL:n vaatimuksiin. Tiehankkeille laaditaan aina hankekohtaiset työselostukset ja laatuvaatimukset. Ne pätevät suhteessa yleisiin laatuvaatimuksiin. Hankekohtaisissa materiaalivaatimuksissa voidaan poiketa useimmista InfraRYL:ssä esitetyissä vaatimuksista, mutta osa niistä on säädetty LVM:n hallinnonalan ohjeistuksella pakollisiksi.

InfraRYL:ssä esitettyjä toiminnallisia vaatimuksia voidaan hyödyntää suunnittelussa, mutta sopimusasiakirjoissa niihin ei viitata.

Suunnittelu perustuu pääsääntöisesti suunnittelua koskeviin ohjeisiin. Suunnittelussa on tarkistettava hankekohtaiset tarpeet poiketa InfraRYL:n määräyksistä tai täydentää niitä. Tarvittaessa teknisen osan vaatimuksia täydennetään ja korjataan työkohtaisessa osassa suunnitellun rakenteen tarpeita vastaaviksi. Hankekohtaiset laatuvaatimukset ja työselostukset -asiakirjan pohjaksi otetaan käytännössä InfraRYL:n laatuvaatimukset, joihin poikkeamat ja täydennykset merkitään selvästi.

InfraRYL:n yleisistä työselostuksista käytetään aina viimeisintä voimassa olevaa versiota

2 Menetelmäkuvaukset

2.1 Yleistä

Massanvaihto on ollut pitkään tunnettu ja paljon käytetty pohjanvahvistusmenetelmä, missä huonosti kantava tai kokoonpuristuva pohjamaa korvataan kantavalla täyttömateriaalilla. Tiepenkereen yleisempinä pohjanvahvistustapoina massanvaihto on ollut jo pitkään ja massanvaihtoja on tehty usein suoraan muihin perustamistapoihin rajautuvana, ilman erityisiä siirtymärakenteita.

Pohjanvahvistustarpeen ratkaisevat stabiliteetti- ja painumakysymykset. Perustamistavan valinta perustuu teknis-taloudelliseen vertailuun eri pohjanvahvistustapojen kesken. Edullinen massatilanne voi edistää massanvaihdon taloudellisuutta ratkaisevasti muihin pohjanvahvistustapoihin verrattuna. Kuitenkin esimerkiksi liikenneturvallisuuden ja stabiliteetin varmistaminen vanhaa tietä levennettäessä voi sulkea pois massanvaihdon pohjanvahvistusmenetelmänä, vaikka se todettaisiin edullisimmaksi pohjanvahvistustavaksi.

2.2 Massanvaihtomenetelmän valinta

Massanvaihto tehdään joko kaivamalla tai pengertämällä. Tässä luvussa esitetään lyhyesti massanvaihtomenetelmien peruserätykset. Massanvaihtomenetelmiä käsitellään yksityiskohtaisemmin luvuissa 5 ja 6.

Massanvaihtomenetelmän valintaan vaikuttavat mm. hankkeen massatalous, massanvaihdon aiheuttavat ympäristövaikutukset ja työturvallisuus. Massanvaihtojen geotekniseen suunnitteluun puolestaan vaikuttavat mm. pehmeikön paksuus, penkereen leveys ja korkeus, pohjamaan ominaisuudet ja maaston topografia. Massanvaihtoa suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota oikeaan työjärjestykseen. Riittävän tarkat ja laajat pohjatutkimukset auttavat välttämään turhia yllätyksiä työsuorituksen aikana.

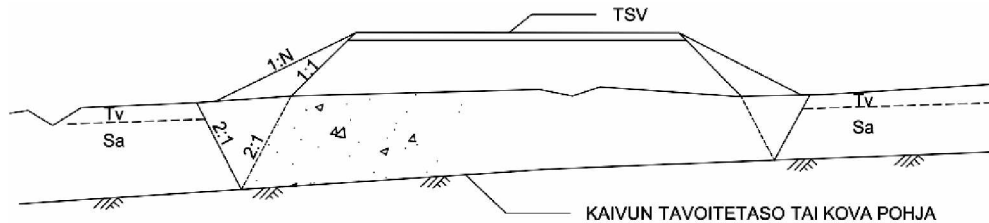
Ympäristössä sijaitsevat rakenteet rajoittavat massanvaihdon käyttöä sekä käytettävän massanvaihtomenetelmän valintaa. Massanvaihtoon rajautuvat muut pohjanvahvistusmenetelmät tulee ottaa huomioon suunnittelussa.

Tässä ohjeessa ei käsitellä pilaantuneiden maiden poistoa.

2.3 Massanvaihto kaivamalla

Menetelmässä pehmeät maakerrokset poistetaan kaivamalla joko kovaan pohjaan (kuva 1) tai määräsyvyyteen (osittainen massanvaihto, kuva 4). Täyttö tehdään yleensä päätypenkereenä luonnollisen maanpinnan tasoon. Menetelmä rajoittuu etupäässä melko mataliin pehmeikköihin (3...5 m), mutta syvimmillään voidaan päästä lähes 10 m saakka. Tämä kuitenkin edellyttää normaalia tarkempaa suunnittelua ja työolosuhteisiin ja -turvallisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Ympäristövaikutukset voivat hyvin syvissä massanvaihtoissa olla merkittäviä.

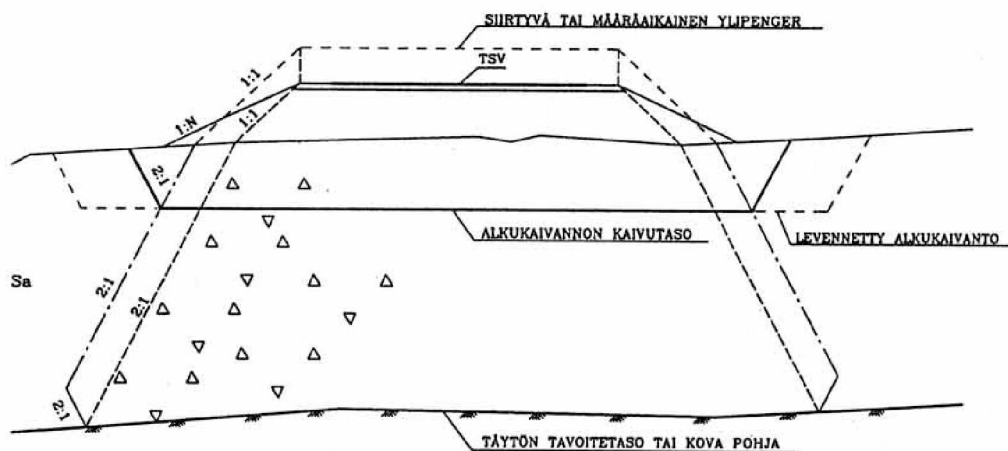
Menetelmä soveltuu hyvin matalille savipehmeiköille sekä matalille soille, joissa kova tai riittävän kantava pohja on välittömästi turpeen alla. Sivukaltevassa maastossa saavutetaan teknisesti luotettavin tulos tällä menetelmällä. Massanvaihto kaltevalle pohjalle tulee suunnitella erityisellä huolella, sillä toteutuksessa on suuremmat riskit. Kantavan pohjan kaltevuus voi vaihdella ja tarkemmat pohjatutkimukset ovat näin ollen tarpeen. Massamenekkiä tulee myös seurata tarkasti. Massanvaihtoa kaivamalla voidaan käyttää myös herkästi vaurioituvien rakenteiden läheisyydessä sekä paalutettujen alueiden päissä, joissa paalupituudet jäisivät lyhyiksi.



Kuva 1 Massanvaihto kaivamalla.

2.4 Massanvaihto pengertämällä

Massanvaihdossa pengertämällä eli pohjaantäytössä pehmeikön syvyys on yleensä niin suuri, ettei massanvaihto kaivamalla onnistu. Pohjaantäyttösyvyydet ovat tavallisesti olleet 5...10 metriä, mutta lähes 20 metrin syvyisiä pohjaantäyttöjä on toteutettu onnistuneesti pehmeissä savissa esipehmennystä käyttäen. Pohjaantäyttöä vaikeuttava pintakerros (esim. kuivakuorisavi) poistetaan alkukaivannosta. Korkeana päätypenkereenä ajettava täyttö syrjäyttää ja puristaa pehmeät maakerrokset penkereen sivuille ja eteen (kuva 2). Pengertämisen aikana kaivetaan pois vastapainona toimivia eteen ja sivuille nousseita massoja. Pengerrytyön onnistumisen edellytyksenä on, että maapohjaa kuormitetaan vähintään murtotilakuormituksella.



Kuva 2 Massanvaihto pengertämällä eli pohjaantäyttö.

2.5 Vesistöpenkereet

Massanvaihto vesistöpenkereiden kohdalla voidaan suorittaa joko ruoppauskalustolla, useimmiten imuruoppaajalla, tai pitkäpuomisella kaivinkoneella. Ruoppaus tai kaivu voidaan tehdä joko lautalta tai, jos kaivumaa on riittävän kiinteä, louhepenkereen päältä.

Ruoppaaminen tulee kysymykseen silloin, kun massanvaihtoa joudutaan tekemään kokonaan vedenalaisena työnä tai kaivantoon tulee runsaasti vettä työn aikana. Ruoppausmassat ovat tällöin pehmeitä koheesiomaita. Massanvaihtokaivannon toteutumista seurataan luotaamalla tai tunnustelemalla.

Ruoppauksella voi olla vaikutusta alueen vesistöön ja se voi vaatia ympäristöluvan. Veden samentumista ja täyttömateriaalin mukana veteen kulkeutuvia haitallisia aineita tulee välttää suunnittelemalla riittävät suojausrakenteet. Suojarakenteena on käytetty esimerkiksi kellukkeiden varassa roikkuvaa painotettua suodatinkangasta.

2.6 Muut massanvaihdon varaan tehtävät rakenteet

Massanvaihto kaivamalla on tapauskohtaisesti harkittava vaihtoehto siltojen tai muiden rakenteiden perustamistapana. Massanvaihdon täytössä tulee tällöin ottaa huomioon mahdolliset sillan paalutukset. Täyttömateriaalit ja tiivistäminen rakenteiden vieressä tapahtuu rakenteiden vaatimusten mukaisesti ja on esitettävä suunnitelmassa erikseen. Massanvaihdon tiivistämiseen sillan tai muun rakenteen lähellä tulee kiinnittää erityistä huomiota. Siltojen materiaalivaatimukset ja siltarakenteiden ympäristön tiivistämisvaatimukset on esitetty InfraRYL luvussa 42010 *Sillan maa- ja pohjarakenteet*. Liitteessä 3 (kohta *Massanvaihto kaivamalla kovaan pohjaan*, kuva 1) on esitetty esimerkki tapauksesta, jossa sillan tulopenger on perustettu massanvaihdon varaan ja itse silta on paalutettu.

Massanvaihto pengertämällä tulee suunnitella erityisen tarkasti, jos lähistöllä on rakenteita, joille toimenpiteistä voi aiheutua vahinkoa. Siltoja tai muita rakenteita ei suositella perustettavaksi tiivistämättömän pengertämällä tehdyn massanvaihdon varaan. Etenkin pohjaantäyttöpenkereessä penkereen painumat ja siirtymät työn jälkeenkin voivat aiheuttaa ongelmia rakenteille. Massanvaihdon varaan perustettaessa tulee täyttö tiivistää huolellisesti. Vauriot siltarakenteeseen voidaan estää esimerkiksi tasaamalla painumaeroja yhtenäisellä pohjalaatalla. Liitteen 3 kohdassa *Massanvaihto kaivamalla kovaan pohjaan* on esitetty esimerkki sillan perustamisesta tiivistetyn massanvaihdon varaan (kuva 2).

2.7 Kalusto

Massanvaihdossa käytettävä kalusto voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin: kaivukalusto, kuljetuskalusto sekä levitys- ja tiivistyskalusto. Tarkemmin eri kalustotyyppejä on esitelty liitteessä 1, tässä kappaleessa käsitellään kaluston käyttöä ja rajoituksia.

Massanvaihdon kaivutyöt voidaan tehdä joko täyttöpenkerein päältä tai pehmeän maan päältä. Pehmeän maan päältä kaivettaessa massanajo voidaan tehdä joko kaivun jälkeen tai kaivua seuraten. Vaihdetavan massan päältä kaivettaessa rajoitteena toimii kuitenkin kaivannon luiskien varmuus. Luiskien täytyy kestää työkoneiden kulkeminen kaivannon reunalla. Useimmiten tämä ei ole syvillä kaivannoilla mahdollista ilman että työturvallisuus vaarantuu, jolloin on järkevämpää suorittaa kaivutyöt täyttöpenkerein päältä.

Mikäli massanvaihto tehdään vedenalaisena joko vesistöalueella tai pohjaveden pinnan alapuolisena, voidaan massanvaihto suorittaa ruoppaajalla. Tämä edellyttää varsin löyhää ja liejuista pohjamaata ja vaikeuttaa massojen poiskuljetusta, mikäli läjitystä ei voida tehdä lähistölle.

Massanvaihdon kaivumassoja kuljetettaessa tulee ottaa huomioon massojen mahdollinen huono käsiteltävyys. Massat voivat olla joko hyvin veteliä ja liejuisia tai hyvin herkästi pölyäviä. **Kaivu- ja täyttömassojen siirrot** massanvaihdon yhteydessä voivat tapahtua hyvinkin samanaikaisesti riippuen työn suoritustavasta, joten työmaatiet ja alueen logistiikka tulisi suunnitella tätä silmällä pitäen.

Massanvaihtoa ei aina voida eikä ole tarpeenkaan **tiivistää koneellisesti**, vaan täytön annetaan tiivistyä joko tiepenkerein tai painumaylipenkerein avulla. Kaivamalla tehtävää massanvaihtoa voidaan tiivistää mahdollisuuksien mukaan kerroksellisesti tai kokonaiskerrospaksuudelta täryjyrällä tai pudotustiivistämällä. Pohjaantäytön koneellinen tiivistäminen onnistuu huonommin ja lopputulos on epävarmempi.

Massanvaihdon toteutuksen ja toteutumien seurannassa voidaan apuna käyttää työkoneissa työkoneautomaatiota. Mm. kaivukoneet ja ruoppaajat voidaan varustaa kaivu- ja pengerrystöihin 3D-ohjausjärjestelmällä, jonka avulla annetaan koneen kuljettajalle suunnitelma-aineistosta tietoa kolmiulotteisina pintoina, linjoina tai pisteinä. Automaatiota voidaan hyödyntää toteutuman seurannassa ja osin laadunvarmistuksessa. Sen avulla voidaan myös tehostaa työsaavutusta.

3 Lähtötiedot

Massanvaihtoa suunniteltaessa on kustannustehokkuudenkin vuoksi tarpeen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa selvittää, mistä täyttömassat kaivantoon tai pohjaantäyttöön on mahdollista saada. Mikäli hankkeessa tai lähialueella ei ole kohtuullisten kuljetusmatkojen päässä saatavissa sopivia täyttömassoja, voidaan perustamistavan muutoksella saada kustannukseltaan halvempi ratkaisu aikaan. Samoin tulisi läjitysalueiden sijainnit ja näiden perustaminen selvittää riittävän aikaisessa vaiheessa. Mahdollisten pilaantuneiden maiden esiintyminen ja niiden sijoittaminen tulee myös selvittää.

Alueen läheisyydessä sijaitsevien rakennusten ja muiden rakenteiden (esim. putket, kaapelit) sijainnit ja perustamistavat tulee selvittää ja niille mahdollisesti massanvaihdon johdosta tarvittavat suojaustoimenpiteet sekä tarkkailu tulee määrittää. Kappaleessa 10.8 *Varottavat rakenteet* on käsitelty suunnittelutarpeita rakenteille kaivamalla ja pohjaantäytöllä tehtävissä massanvaihdossa.

Alueella sijaitsevat kaivot ja niiden veden laatu tulee kartoittaa. Massanvaihdon seurauksena saattaa olla haittaa ympäristön kaivoille, varsinkin jos työhön kuuluu pohjaveden työnaikainen alentaminen. Alueen lähtötilanne on joka tapauksessa tarpeen selvittää ja pohjavesien tilannetta seurata hyvissä ajoin ennen rakentamista.

Suunnittelussa ja sitä edeltävässä pohjatutkimusohjelman teossa käydään läpi alueella aiemmin tehdyt kairaukset ja vanhat tutkimustulokset. Maaperäkartoja tulkitsemalla voidaan pehmeikköalueet rajata suuntaa-antavasti ja kartta- ja maastokäyntitarkasteluilla saadaan alueesta hyvä ensinäkemys. Näitä tietoja täydennetään uusin tutkimustulosten perusteella suunnittelun edetessä.

Pohjatutkimusohjelman laadintaan vaikuttaa myös se, missä suunnitteluvaiheessa ollaan. Edellisen suunnitteluvaiheen pohjatutkimustietojen perusteella laaditaan seuraavan vaiheen ohjelma vastaamaan sen hetkisiä tarpeita.

Pohjatutkimuksista tulisi selvittää mm. seuraavat seikat:

- maaperän kerrosrakenne (mahdolliset pehmeät tai kovat välikerrokset)
- kivisyys, lohkareisuus
- kantavan pohjan/massanvaihdon alaraja riittävällä tarkkuudella l. kantavan pohjan syvyys rakenteen vaatimalla tarkkuudella
- pohjaveden korkeustaso
- maan rakeisuus, vedenläpäisevyys, humuspitoisuus
- leikkauslujuus
- läjitettävyyden, massojen kelpoisuus (käytettävät massanvaihdon korvaavat massat, *Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 09/2010: Luku 4.2 Materiaalit*)
- mahdollisesti stabiloituvuus jatkokäytön kannalta

Teiden maarakenteiden ja pohjarakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa lähtötietoina tarvittavat pohjatutkimukset ja mittaukset on esitetty ohjeessa *Geotekniset tutkimukset ja mittaukset (TIEH 2100057–08)*. Jos työn aikana havaitaan, että maaperätiedot poikkeavat suunnitelmissa esitetyistä, voi olla tarpeen tarkastella uudelleen suunnitelmaratkaisuja. Tarkkuus suunnitelmavaiheessa perustuu aina lähtötietojen tarkkuuteen.

4 Massanvaihtokaivannon täyttö

4.1 Materiaalit

4.1.1 Täyttömateriaali

Massanvaihdon täyttömateriaali on suunnitelma-asiakirjojen mukaista. Massanvaihdon täyttöjen yleiset laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL luvussa 18360 *Massanvaihtoon kuuluvat täytöt*. Niitä täydennetään ja korjataan tarvittaessa hankekohtaisilla laatuvaatimuksilla.

Leikkauksista saatavien täyttömateriaalien vaatimuksista ja käytöstä on kerrottu ohjeen *Tiepenkereiden- ja leikkausten suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 9/2010* kappaleessa 4.2 Materiaalit.

Veden alla pengerrettäessä louhe on paras materiaali, koska sillä ei ole liettymisvaaraa.

Mikäli massanvaihtoalueella tullaan **paaluttamaan rakenteita**, valitaan täyttömateriaali paalutyypin mukaan. Suositeltavia materiaaleja ovat hiekka, murske tai pienikivinen sora. Vinopaaluja käytettäessä tulee huomioida penkereen painumasta johtuvat lisäkuormitukset. Paalutettavilla alueilla ei ole suositeltavaa tehdä massanvaihtoa pengertämällä penkereen mahdollisten epätasaisten painumien vuoksi. Koska yleensä täyttömateriaalina käytetään louhetta, vaikuttaa tämä myös paalutyypin valintaan (porapaalu).

Kaivamalla tehtävän massanvaihdon täyttömateriaali

Paras ja eniten käytetty massanvaihtojen täyttömateriaali on louhe, mutta myös muita kitkamaalajeja kuten soraa, hiekkamoreenia, hiekkaa tai karkeampia maalajeja voidaan käyttää. Louhepengertä käytettäessä etuna on se, että kaivinkoneen työskennellessä penkereen kärjessä on varmuus sortumaa vastaan suurempi. Täyttömateriaalia suunnitellessa tulee ottaa huomioon, rakennetaanko täyttö osaksi rakennekerroksia. Tällöin käytetään täyttömateriaalina rakennekerrosten vaatimukset täyttävää materiaalia. Materiaali on määritelty InfraRYL kappaleessa 18360.1.1.

Kantavan pohjan ollessa pinnaltaan sivukaltevaa tai savikerroksen peittämää kalliota, on suositeltavin täyttömateriaali kaivannon pohjatasolla louhe.

Pengertämällä tehtävän massanvaihdon täyttömateriaali

Massanvaihtopenkereessä käytetään tierakenteen yhteydessä louhetta tai karkeaa kitkamaata. Pengertämällä tehdyn massanvaihdon materiaali on määritelty InfraRYL kappaleessa 18360.1.2.

Murtoylipenkereessä käytetään yleensä samaa materiaalia kuin varsinaisessa penkereessä. Penger materiaalien erottelusta ei ole hyötyä työn aikana tapahtuvien sortumien vuoksi.

Painumaylipenkereessä voidaan käyttää mursketta varsinkin tasausvaiheessa ja siinä tapauksessa, ettei ylipenkereessä käytetylle täyttömateriaalille ole käyttöä myöhemmin. Joissakin kohteissa murskevarastoa onkin käytetty ylipenkereenä.

4.1.2 Kiilausmateriaali

Louhepenkereen pinta kiilataan, mikäli yläpuolelle tulevat rakennekerrokset ovat pienempirakeista kuin massanvaihdon täyttö. Kiilauksella pyritään estämään tulevien rakennekerrosten valuminen penkereen väleihin. Kiilausta voidaan edesauttaa kippaamalla louhe penkereen päälle ja puskemalla sitä penkereen päähän.

Kiilausmateriaalina käytetään routimatonta mursketta, jonka rakeisuus riippuu penkereessä käytetyn louhe- tai mursketäytön lohkokokoosta tai rakeisuudesta. Kiilauksen materiaalivaatimukset on esitetty InfraRYL luvussa 18121 *Maalle pengerretyt louhepenkeret*.

4.2 Täytön tiivistys

Massanvaihtoa ei yleensä erikseen tiivistetä, vaan täytön annetaan tiivistyä omasta painosta ja päällä liikkuvien koneiden sekä maansiirtoautojen vaikutuksesta. Tiivistymistä voidaan tehostaa esikuormituspenkereellä ja riittävällä painuma-ajalla. Esi-kuormituspengertä käytettäessä tulee massanvaihto suorittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tarvittavan tiiveyden aikaansaamiseksi. Varsinkin osittaista massanvaihtoa tehtäessä on maaperän mahdollisten heikompien kerrosten tiivistyminen otettava huomioon varaamalla riittävän pitkä painuma-aika. Massanvaihdon yläpuolinen penger pitää tarvittaessa rakentaa kerroksittain.

Pengertämällä tehtävää massanvaihtoa ei yleensä tiivistetä, vaan penger tiivistyy työn yhteydessä ja sen jälkeen omasta painostaan.

Kaivamalla tehtävä massanvaihto voidaan tiivistää kerroksittain, mikäli reunojen sortumisvaaraa ei ole. Tällöin kaivannossa mahdollisesti oleva vesi poistetaan ja penger rakennetaan kerroksittain tiivistäen kaivannon pohjalta saakka.

Massanvaihdon jälkitiivistäminen voi joissakin tapauksissa olla tarpeellista, esimerkiksi massanvaihdon liittyessä muihin rakenteisiin, kuten siltoihin. Massanvaihdon kerroksittain tiivistäminen ei ole aina tarkoituksen mukaista. Tällöin voi olla mahdollista käyttää pudotustiivistystä tai muuta paksun täytön tiivistämiseen soveltuvaa menetelmää.

5 Massanvaihto kaivamalla

5.1 Massanvaihtokaivanto

5.1.1 Kaivannon mitoitus

Kaivamalla tehtävän massanvaihdon yksityiskohtaiseen suunnitteluun vaikuttavat lähinnä kaivannon pysyvyys sekä stabiliteetti- ja painumakysymykset, ellei kaivua uloteta kovaan pohjaan saakka.

Massanvaihtokaivannon leveyteen vaikuttavat penkereen leveys sekä maaperän sensitiivisyys ja leikkauslujuus. Kaivannon leveys mitoitetaan niin suureksi, että penkereen ja luiskien haitallinen painuminen estetään sekä luiskien riittävä stabiliteetti saavutetaan. Normaalitapauksessa kaivannon leveys määritetään kuvan 1 mukaisesti. Sivukaltevalla pohjalla kaivannon mitoitus tarkistetaan stabiliteettilaskelmin. Sivukaltevuuden toteutusta voidaan parantaa massanvaihdon sivuttaisella laajentamisella tai pohjan porrastuksilla, kts. esimerkkikuva InfraRYL 18110:K1.

Kaivannon luiskat tehdään normaalisti melko jyrkiksi kaltevuuteen 2:1...1:1, mikä tavallisesti riittää turvemailla ja pehmeillä koheesiomailla, jos täyttö tapahtuu välittömästi kaivun perässä. Laskelmissa tulee erityisesti kiinnittää huomiota alueisiin, joissa on työmaaliikennettä. Massanvaihto rajoittaa työkoneiden liikkumista kaivannon reunoilla sekä läjitysmassojen sijoittamista.

5.1.2 Kaivussyvyys

Perusmaa poistetaan kaivamalla tai ruoppaamalla suunnitelmassa tai työn aikana määrättyyn syvyyteen. Kaivutaso suunnitellaan yleensä kovan pohjan maalajirajan tai saven lujuusominaisuuksien perusteella. Kerrosrajojen epäsäännöllisen vaihtelun vuoksi lopullinen kaivutaso määräytyy työnaikaisten havaintojen perusteella.

Suurimmat kaivussyvyydet ovat tavallisesti kuivassa kaivannossa 4...5 metriä ja veden alla 3...4 metriä. Erikoiskalustolla voi olla mahdollista päästä jopa 10 metriin saakka, mutta tällöin tulee kohdekohtaisesti tarkastella ja arvioida mahdolliset riskit ja työn turvallisuus.

5.1.3 Kaivumenetelmät

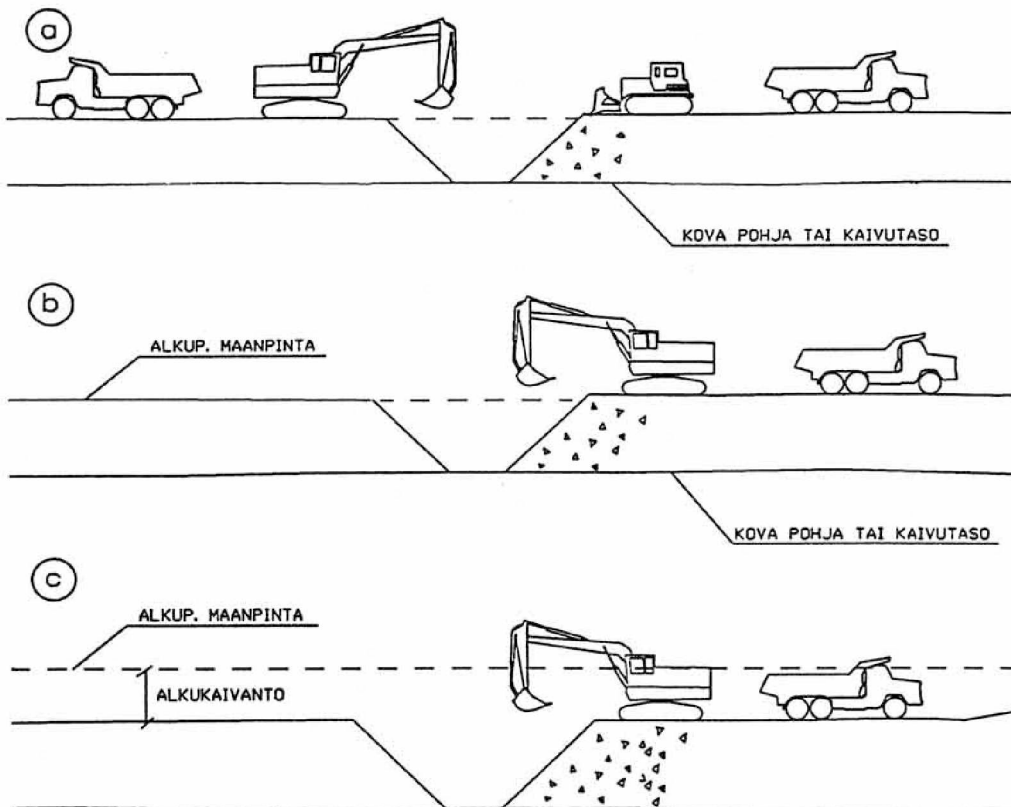
Käytettävän kaivumenetelmän ratkaisevat yleensä pohjasuhteet. Kaivu tehdään joko luonnonmaan päältä penkereen edestä tai täyttöpenkereen päältä olosuhteissa, joissa on vaikeuksia suorittaa kaivua etukäteen. Kaivantoluiskien sortumisvaaraa voidaan joissakin tapauksissa pienentää täyttämällä kaivanto vedellä. Massanvaihdon täyttö ajetaan päätypengerryksenä yleensä luonnollisen maanpinnan tasossa siten, että kiihlamainen penkereen kärki auraa kaivannon pohjalle jääneen koheesiomaan sivuille ja eteen.

Etukäteen kaivu (kuva 3a) soveltuu esimerkiksi talvisaikaan soilla, missä luiskien pysyvyys ei muodostu ongelmaksi ja koneiden liikkuminen jäätyneen pintakerroksen varassa on mahdollista. Menetelmän etuna on työn selkeys ja massojen käsittelyn helppous. Kaivantoa ei yleensä voida pitää auki pitkään, joten täytön on edettävä kai-

vun perässä. Kesällä on ajoteiden kantavuutta parannettu suodatinkankailla tai lujitteilla. Soilla voidaan ajoteitä vahvistaa poistettavalla pienpuustolla ja maatumattomalla pintakerroksella.

Penkereen päältä kaivun (kuva 3b) etuna on riippumattomuus sääolosuhteista. Menetelmä rajoittaa kaivussyvyyttä ja poiskuljetettavat vetelät kaivumassat sotkevat rakennettua pengertä. Kaivun mukana nousevat täyttömassat lisäävät massamenekkiä. Leveillä penkereillä yhtäaikainen kaivu ja täyttö eivät aiheuta ongelmia. Moottoritiepenkereellä voi työskennellä 2...3 kaivinkonetta rinnan. Kapea penger vaikeuttaa ohituksia ja peruutusmatkat voivat muodostua pitkiksi. Joissakin tapauksissa penger on rakennettu työteknisistä syistä suunniteltua leveämpänä ja ylimenevät massat on poistettu myöhemmin. Pitkät peruutusmatkat voidaan välttää myös ylläpitämällä siirtävää ohitus- ja kääntöpaikkajärjestelyä.

Kaksivaiheisessa kaivumenetelmässä (kuva 3c) kaivetaan 1...2 metrin syvyinen alkukaivanto etukäteen ja loppuosa kaivetaan louhepenkereen päältä. Joissakin tapauksissa kaivinkone voi tällöin työskennellä alkuperäisen maanpinnan tason alapuolella. Kevennysleikkauksia käyttämällä alkukaivannon syvyys voi olla jopa 3 metriä ja toisen kaivuvaiheen syvyys 5...6 metriä. Näin menetellen voidaan matalat pohjaantäytöt vaihtaa massanvaihdoksi kaivamalla.



Kuva 3 Massanvaihdon tavallisimmat kaivumenetelmät. a) Etukäteen kaivu b) Penkereen päältä kaivu c) Kaksivaiheinen kaivumenetelmä.

5.1.4 Kaivannon kuivatus

Kaivannossa oleva vesi lisää yleensä luiskien vakavuutta, mutta vaikeuttaa kaivamista ja aiheuttaa kaivannon pohjan liettymistä sekä toimii vastapainona täyttömassojen alla estäen syrjäytymistä. Talvella on estettävä jäälautan muodostuminen kaivannon pohjalle myöhempien sulamispainumavaurioiden ehkäisemiseksi.

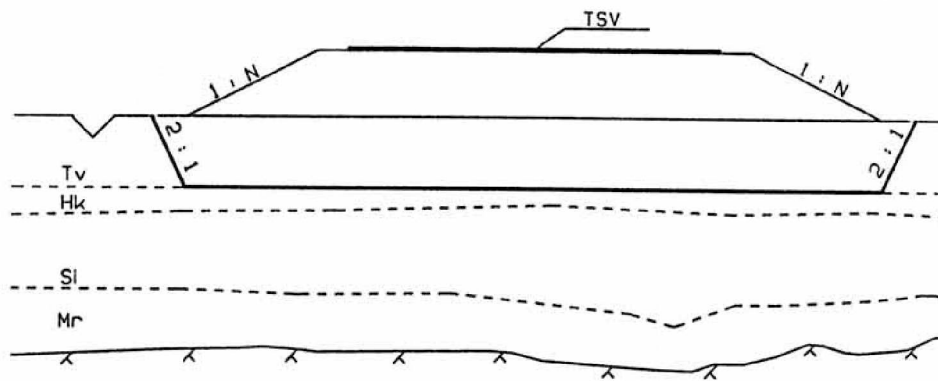
Tarvittaessa kaivanto voidaan kuivattaa esim. uppopumpuilla. Pohjavedenpintaa voidaan myös alentaa etukäteen esim. kaivoilla tai pumppaamalla. Pohjavedenpinnan alentamisen aiheuttamat ympäristövaikutukset tulee ottaa huomioon. Alentamisen vaikutusalue voi ulottua hyvin laajalle alueelle. Kuivatusta harkittaessa on selvitettävä pohjannousun mahdollisuus.

5.2 Osittainen massanvaihto

Osittaisessa massanvaihdossa maapohjan heikko pintakerros korvataan paremmin kantavalla materiaalilla sellaiseen syvyyteen, että tiepenkereen vakavuus on riittävä ja penkereen lopulliset painumat jäävät sallitun suuruisiksi. Menetelmä soveltuu maaperään, jossa enintään 3...5 metrin paksuisen pehmeän turpeen tai savikerroksen alla on lujempi, tasaisesti kokoonpuristuva maakerros (kuva 4). Liitteessä 3 on esitetty esimerkkitapaus osittaisesta massanvaihdosta (kohta *Osittainen massanvaihto*, kuva 3).

Osittaisen massanvaihdon yhteydessä penger ajetaan tavallisesti päätypenkereenä maanpinnan tasoon. Penkereen painumista voidaan nopeuttaa ylivenkereellä, mikäli pohjamaan lujuus on riittävä. Lujuuden ollessa liian pieni voidaan penger rakentaa joissakin tapauksissa kerroksittain siten, että alin kerros toimii vastapenkerenä seuraavalle kerrokselle estäen alle jäävien maiden ylös kohoamisen penkereen edessä. Penkereiden reunat pyrkivät usein painumaan tavoitetasoa syvemmälle, jolloin penkereen keskelle jää herkästi pehmeä perusmaalinssi. Varsinkin sivukaltevissa olosuhteissa voi ongelmaksi muodostua täyttömassojen liukuminen ja painuminen haluttua syvemmälle tasolle eli osittainen massanvaihto pyrkii ryöstäytymään pohjaantäytöksi. Tahatonta pohjaantäyttöä voidaan pyrkiä estämään mm. suodatinkankailla. Työn aikana tehtävää aika-painumakäyrää verrataan vastaavaan suunnitteluvaiheessa arvioituun aika-painumakäyrään ja tarvittaessa painuma-aikaa tai painumaylipenkeren korkeutta lisätään painumien nopeuttamiseksi. Painumaylipenkeren stabiliteetti tulee kuitenkin tässä tapauksessa tarkistaa.

Osittainen massanvaihto, kuten muutkin massanvaihdot, tulee pyrkiä tekemään mahdollisimman varhaisessa vaiheessa riittävän painuma-ajan saamiseksi. Painumaylipengertä voidaan osittaisessa massanvaihdossa käyttää sekä penkereen vakavuustarkkailussa että painumien aikaansaamisessa. Pengertä on mahdollista kuormittaa myös käyttämällä sitä esimerkiksi työmaatienä. Tällöin likaantunut pinta tulee poistaa ennen lopullisten rakenteiden rakentamista.



Kuva 4 Osittaisen massanvaihdon periaate.

6 Massanvaihto pengertämällä

6.1 Massanvaihtopenger

6.1.1 Penkereen mitoitus

Massanvaihdossa pengertämällä eli pohjaantäytössä vaikuttavat yksityiskohtaiseen suunnitteluun lähinnä penkereen leveys ja korkeus, pehmeikön paksuus, syrjäytettävän maan ominaisuudet sekä kovan pohjan sivu- tai pituuskaltevuus.

Penkereen painumisen edistämiseksi joudutaan usein suorittamaan joitakin seuraavista toimenpiteistä:

- alkukaivanto, jolla poistetaan mahdollinen kuivakuorikerros tai pintaturve
- täyttötöön aikana murtoylipenkereen käyttö
- painumaylipenkereen käyttö täytön jälkeisten painumien vähentämiseksi
- penkereen sivuille nousseen maan poiskaivu
- maan esipehmentäminen räjäytyksin.

6.1.2 Alkukaivannon mitoitus

Pengertämällä tapahtuvan massanvaihdon alkukaivanto tehdään samoja periaatteita noudattaen kuin massanvaihdossa kaivamalla. Alkukaivannosta poistetaan pengerrystyötä haittaava kuivakuorikerros tai puinen ja juurinen pintaturve.

Kaivussyvyys on tavallisesti 2...3 metriä ja kaivannon mitoitusperiaate on esitetty kuvissa 2 ja 6. Alkukaivanto kannattaa toteuttaa mahdollisimman laajana ja syvänä, koska tällöin vähennetään ylös kohoavienn massa- ja juurimäärää. Alkukaivannon syvyyttä voidaan lisätä kaivantoluiskien stabiliteettia vaarantamatta tekemällä kevennysleikkaukset kaivannon reunoille.

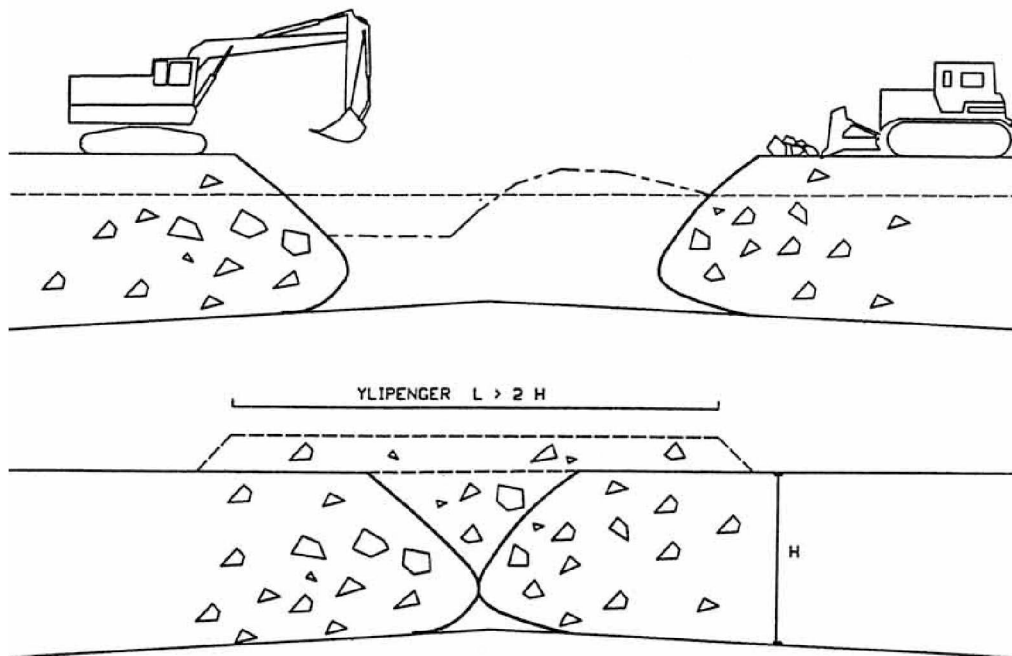
Talviolosuhteissa on estettävä jäälautan muodostuminen alkukaivantoon. Penger nousee helposti jäälautan päälle ja seurauksena on sulamispainumia jään sulaessa hitaasti syvällä penkereen sisällä. Lisäksi kuivakuoren jäätyminen pakkasilla vaikeuttaa kaivutyötä. Roudan rikkominen pehmeän savikerroksen päällä voi olla hankalaa, koska irtoavat jäätyneet kamit pyrkivät sukeltamaan pehmeään saveen. Roudan rikkomiseen käytetään iskuvasarakalustoa. Talvityö soveltuu melko hyvin pohjaantäyttötöyöhön, sillä maan jäätyminen helpottaa koneiden kulkemista pehmeässä maastossa. Maan jäätymistä voidaan edesauttaa poistamalla lumi työalueelta.

6.1.3 Pengerrysmenetelmät

Pohjaantäyttö suoritetaan korkeana **päätypengerryksenä** (kuva 2), jonka leveys on suunnitellun penkereen levyinen. Pengerrystyö tulisi tehdä, mikäli mahdollista, yhdeltä suunnalta. Jos penger rakennetaan kahdelta suunnalta, päät yhdistetään pehmeikön matalimmassa kohdassa (kuva 5). Esimerkitapauksia pengertämällä tehdystä massanvaihdosta on esitetty liitteen 3 kappaleessa *Pohjaantäyttö* (liitteen kuvat 4-6).

Täyttökuormat tyhjennetään muutaman metrin päähän penkereen kärjestä ja pusku- kone työntää täyttömateriaalin kaivantoon tai tasaa sen ylipenkereeksi. Vastaanotta-

vana koneena voidaan käyttää myös kaivinkonetta. Penkereen leveydellä ei ole suurta vaikutusta työn onnistumiseen. Hyvin kapeita pohjaantäyttöjä kuten kevyen liikenteen raitteja, on kuitenkin vaikea saada onnistumaan.



Kuva 5 Pohjaantäyttö kahdelta suunnalta pengerrettäessä ja painumaylipenkeren käyttö.

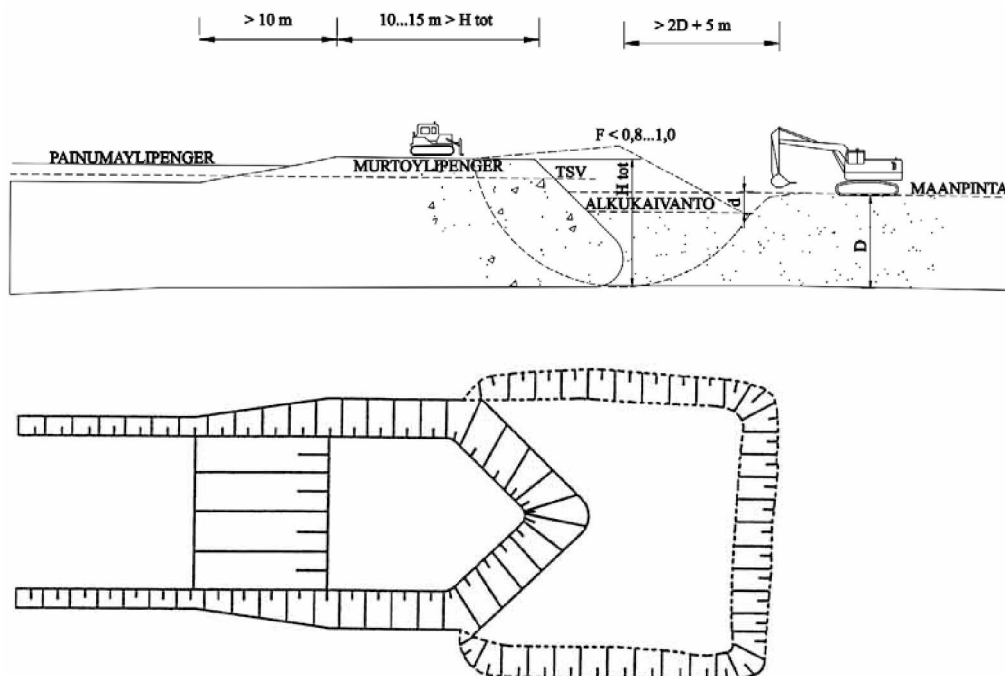
Massanvaihtopenkereen kärki on kiilan muotoinen (kärkikulma noin 60–90°), ja se auraa pohjamaata sivuille (kuva 6). Sivukaltevassa maastossa (kaltevuus > 5°) aurataan pohjamaata pehmeikön matalammalta reunalta syvempää reunaa kohti. Penkereen kärki sijaitsee tällöin tiepenkereen toisella reunalla ja kärkikulma on noin 30–45° (kuva 7). Kärki saa tällöin tukea ylös nousevista massoista, jolloin sivulle ryöstäytymisen riski jää pienemmäksi.

Murtoylipengertä (kuva 6) käytettäessä penkereen korkeuteen vaikuttavat pohjaantäyttöolosuhteet, minkä vuoksi ylipengerkorkeus on ratkaistava tapauskohtaisesti. Tavallisesti käytetään penkereen kärjessä etenevää murtoylipengertä, mutta joissakin tapauksissa matalampikin murtopenger, kuten korkea tiepenger, voi toimia murtoylikereenä. Työn onnistuminen vaatii yleensä, että varmuusluku on $F = 0,8 \dots 1,0$ ominaisarvoilla laskettuna. Yleensä 5...6 m syvällä pehmeiköllä käytetään vähintään 1 m ja 10...12 m pehmeiköllä vähintään 2 m korkeata tilapäistä murtoylipengertä. Työnäikaisena murtoylipenkerenä on käytetty jopa 3...4 metrin korkuisia ylipenkereitä.

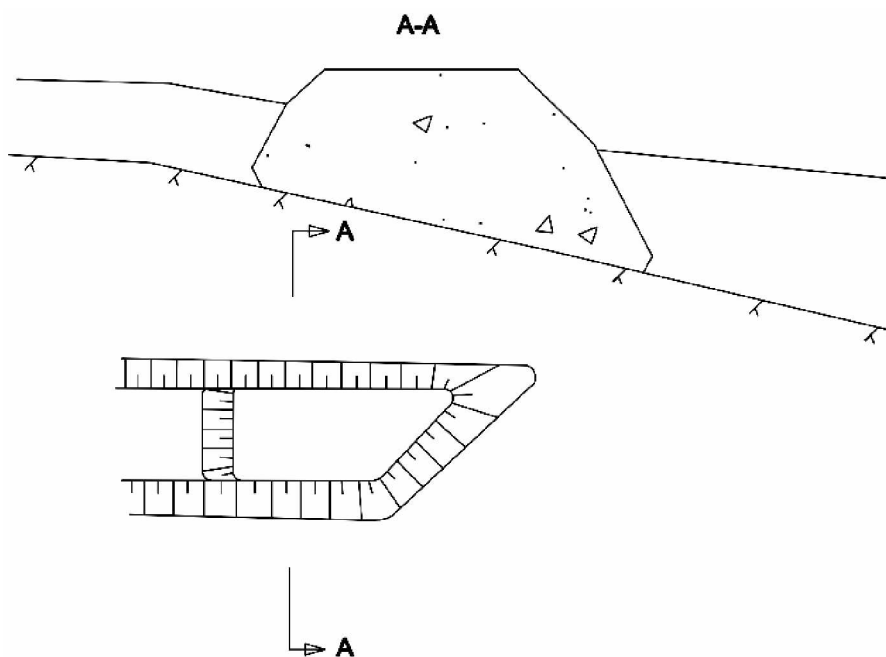
Murtoylipenkeren korkeus pidetään jatkuvasti sellaisessa tasossa, että maapohjan murtotila säilyy. Ylipenkeren yläpinnan leveyden tulisi olla yhtä suuri kuin kuormittavan penkereen yläpinnan leveys (kuva 2).

Painumaylipenkereellä voidaan vähentää haitallisia jälkipainumia. Ylipenkeren poistamisajankohdan määrittämiseksi suoritetaan painumamittauksia (painumien mittaamista ja työn lopputuloksen valvontaa esitellään tarkemmin kappaleessa 9). Suunnitelmissa vaaditut painuma-ajat ovat tavallisesti olleet 6...12 kuukautta, mutta

työmaalla ylipenkereitä on jouduttu poistamaan jo 3...4 kuukauden kuluttua aikataulusyistä. Ylipenkereen korotuskriteerin määrää yleensä suunnittelija. Alle 0,2 metrin painumia ei yleensä korjata ylipengertä korottamalla. Louhepenkereellä sopiva korotusväli on 0,4...0,6 metriä.



Kuva 6 Massanvaihto pengertämällä käyttäen siirtyvää murtoylipengertä.



Kuva 7 Massanvaihto pengertämällä sivukaltevassa maastossa.

6.1.4 Ylös ja sivulle nousseet maat

Täytön yhteydessä nousee pehmeätä perusmaata tavallisesti penkereen sivuilta ja edestä, missä se toimii vastapenkereenä haitaten täyttötyön onnistumista. Ylös ja sivulle nousseet massat kaivetaan pois niin syvältä ja leveältä, että penkereen murto-tila säilyy. Penkereen painumista kovaan pohjaan saakka edistää myös poiskaivu penkereen kärjen alta, sillä tämä toisaalta keventää vastapainoa ja toisaalta edistää perusmaan häiriintymistä. Tämä vaikutus on merkittävä erityisesti kourakauharuoppauksessa.

Ylös ja sivuille kohoavien massamäärien arvioimiseen ei ole olemassa yksiselitteistä menetelmää, vaan arviot perustuvat kokemuseräiseen tietoon. Keskimäärin ylös kohonneiden massojen määrän voidaan arvioida olevan luokkaa $0,3...0,5 \cdot$ täyttömassat. Sivuille kohoavat suuret massamäärät tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheen hallinnollisessa käsittelyssä siten, että massanvaihtokohdissa varataan riittävän laajat haltuunottoalueet. Etenkin sivukaltevilla paikoilla alueet ovat joskus jääneet liian suppeiksi.

Ylös kohoavien massojen määrää voidaan pienentää merkittävästi kaivamalla alkukaivanto mahdollisimman syvänä ja laajana. On edullisempaa kaivaa ja kuljettaa massoja alkukaivannosta, koska vetelien häiriintyneiden massojen kaivaminen ja käsittely penkereen sivuilla on hankalaa ja kallista. Massoja on jätetty paikalleen penkereen sivuille kohteissa, joissa ympäristön maanpinnan kohoamisesta ei ole ollut haittaa (mm. avosuot). Liikkuneiden alueiden rauhoittuminen esimerkiksi viljelykelpoiseen kuntoon vie muutamia vuosia ja niitä on tasattava ja muotoiltava useaan kertaan.

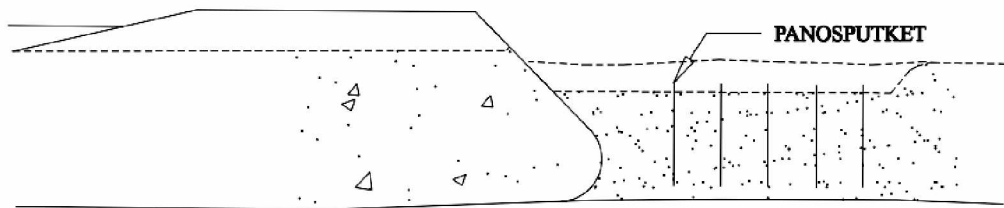
Osa ylös nousevista massoista sekoittuu penkereen louheeseen ja joissakin tapauksissa massat pursuavat jopa penkereen läpi. Läpi pursuamisen vaara on suurin matalissa penkereissä, joissa tien taseus on lähellä maanpintaa. Näissä tapauksissa on pengertä kaivettava jälkikäteen ja korvattava routivaksi muuttunut pintakerros routimattomalla rakenteella.

Ylös ja sivuille nousseet massat voidaan yleensä poistaa samalla kalustolla kuin alkukaivannon massat. Tarvittaessa päästään nosturi-kourakauhayhdistelmällä useiden kymmenien metrien ulottuvuuksiin.

6.1.5 Esipehmentäminen

Pohjaantäytössä voidaan käyttää apuna etukäteisräjäytyksiä pehmittämään maaperää. Pohjaantäyttöä voidaan helpottaa syvissä savipehmeiköissä ja sitkeissä savikerroksissa häiritsemällä pohjamaan lujuutta alkuperäisestä. Toisaalta räjäytykset ohjaavat pengermassoja haluttuun suuntaan. Myös pitkään keskeytyneenä olleen työn jatkamiseen on käytetty räjäytyksiä. Räjäytysten teho on sitä suurempi, mitä sensitiivisempää perusmaa on.

Räjäytettäessä penkereen edessä panokset sijoitetaan kuvan 8 esimerkin mukaisesti. Ennen räjäytystöiden aloittamista tulee työstä tehdä räjäytys- ja turvallisuussuunnitelmat. Räjäytyksiä on käsitelty InfraRYL kappaleessa 18360.3.2 sekä soveltuvien osien luvussa 17110.



Kuva 8 Räjäytykset penkereen edessä.

Kerralla räjäytettävän matkan pituus määräytyy täytön etenemisen perusteella. Täytöpengermassat on ajettava räjäytetylle alueelle noin viikon kuluessa, jotta rikutun alueen lujuus ei ehdi palautua. Tavallisimmin kerralla räjäytettävä matka on 10...30 metriä.

6.2 Täytön onnistumisen tarkkailu

Täyttömassojen tunkeutumista seurataan työn aikana sekä ympäristöseurannan että massamenekin sekä poistettavien ja ylösnousseiden massojen tarkkailulla. Tarvittaessa tehostetaan ylösnousseiden massojen kaivua tai korotetaan ylipengertä. Mahdolliset sivusuuntaan liikkuvat täyttömassat pyritään estämään kaivamalla tai räjäytyksin. Työsuoritusta ja penkereen toteutumisen seuranta on käsitelty tarkemmin kappaleessa 9 Työsuorituksen ja lopputuloksen valinta.

7 Massatalous

7.1 Hanketasoinen tarkastelu

Suuret massanvaihdot ovat hankkeen massatalouden kannalta keskeisiä kohteita. Massanvaihtojen suunnittelu kytkeytyy läheisesti koko hankkeen massatalouden suunnitteluun, kun tien linjaukselle ja tasaukselle haetaan edullisinta paikkaa. Tien suuntauksen ja tasauksen muutoksilla voidaan säädellä massanvaihtojen massatasapainoa. Massanvaihtojen ajoitukseen vaikuttavat toisaalta leikkausmassojen saaminen pengerryksiin ja toisaalta massanvaihtojen vaatima painuma-aika. Massanvaihtojen yksityiskohtia suunniteltaessa on otettava huomioon täyttömassojen tuontisuunnat.

7.2 Kohdekohtainen tarkastelu

Työkohteen massataloudellinen suunnittelu on lähinnä massojen siirron ja käsittelyn suunnittelua sekä rakennussuunnittelu- että työnsuunnitteluvaiheissa. Kohteen massansiirtosuunnitelmaa tehtäessä huomioonotettavia seikkoja ovat pohjasuhteet, massojen laatu, olemassa olevat ja rakennettavat työmaatiet, työn ajoitus, käytettävä työmenetelmä ja koneresurssit sekä erikoisrakenteiden asettamat rajoitukset.

Tavoitteena suunnittelussa on optimoida massansiirtokustannukset. Tämä edellyttää sitä, että tarpeetonta massojen käsittelyä (esim. välivarastointia) ei tehdä ja kaikki käyttökelpoiset massat käytetään oikein. Massanvaihtojen yhteydessä on esimerkiksi ylipenkereessä käytetyt massat järkevää saada hyötykäyttöön hankkeen myöhemässä vaiheessa.

Massanvaihtokohteet pyritään toteuttamaan hankkeen alkuvaiheessa pitkien painuma-aikojen vuoksi. Tämä ei ole kuitenkaan aina mahdollista, sillä massanvaihtoihin varatut kalliomassat saattavat olla muihin kohteisiin menevien pengermassojen alla. Myös massanvaihtokohteeseen pääsy voi olla mahdotonta ennen kuin kulkuyhteys on rakennettu joko tielinjaa tai työmaatietä pitkin.

7.3 Läjitykset

7.3.1 Läjityksen suunnittelu

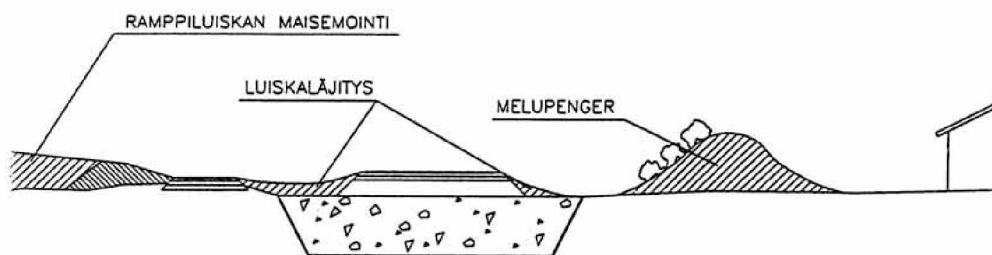
Läjityksien suunnittelu on tärkeä osa massanvaihtojen suunnittelua ja siksi läjitysalueet tulee aina suunnitella etukäteen. Erityisesti taajama-alueilla ja niiden lähistöllä on hyvä varata läjitysalueet jo tiesuunnitelmavaiheessa. Tällöin vältetään erillisiltä lupaprosesseilta, sillä tiesuunnitelman hallinnollisen käsittelyn yhteydessä läjitysalueille voidaan hankkia läjityslupa. Suunnittelussa otetaan huomioon teknisten seikkojen lisäksi ympäristöön liittyvät näkökohdat. Luvat ja alueet on hankittava hyvissä ajoin ennen rakentamista. Suunnittelun yhteydessä selvitetään myös kuljetusyhteydet ja -matkat. Tarpeetonta kuljetusta vilkkaasti liikennöidyillä teillä tai asuinalueilla tulee välttää. Läjityspaikka tulisi sijoittaa mieluiten lähellä leikkauspaikkaa. Läjitettäessä kuntien kaatopaikoille on otettava huomioon jätemaiden käsittelymaksut massan-

vaihdon taloudellisuutta arvioitaessa. Läjitysalueesta laaditaan ennen käyttöönottoa käyttö- ja viimeistelysuunnitelma.

Läjitysalueen suunnittelussa on selvittävä maapohjan kantavuus pohjatutkimuksella ja läjitettävän materiaalin läjitettävyyden (esim. vesipitoisuus, sensitiivisyys, leikkautslujuus ja rakeisuus) sekä otettava huomioon alueella olevat kuivatusojat ja virtausolosuhteet. Kuivatus on järjestettävä niin, että luonnontilaiset kuivatusolosuhteet säilyvät. Pintavesien ja läjitysmassojen valuminen ympäristöön on estettävä. Myös läjitysalueella työskentelevien henkilöiden työturvallisuus on otettava huomioon.

7.3.2 Läjitykset tierakenteiden yhteydessä

Läjitysmassoja pyritään sijoittamaan tien välittömään läheisyyteen mahdollisimman paljon luiskaloivennuksina sekä maisemanhoidollisina täyttöinä (kuva 9). Läjitysmassoja käytetään maisemanhoidollisina täyttöinä mm. moottoritieramppien luiskissa reunapenkereillä vahvistettuna. Reunapenkereissä voidaan käyttää kuivakuorisavea. Myös melusuoja- ja penkereet soveltuvat läjitysmassoille, mikäli pohjamaan stabiilitetti on riittävä.



Kuva 9 Läjitysmassojen sijoitus tien läheisyyteen luiskaloivennuksina, maisemanhoidollisina täyttöinä ja melupenkereissä.

Luiskaläjitys on kustannuksiltaan edullisin läjitystapa. Luiskaläjitystä voidaan käyttää etenkin pidemmällä massanvaihto-osuuksilla kauempana penkerein kärkeä, jolloin läjitystyöstä itse massanvaihtotyölle aiheutuvat haitat jäävät pienemmiksi. Myös moottorietien keskikaista soveltuu läjitykseen. Ongelmana ovat läjitysmassojen penkerta liikaava vaikutus ja huono käsiteltävyys. Kuivakuorta sekä silttisiä makoja on joissakin tapauksissa läjitetty penkerein läheisyyteen väliarastoon. Massojen käsiteltävyys paranee ajan myötä ja hyötykäyttö luiskaverhouksissa tai kauemmas kuljetaminen on helpompaa myöhemmin. Massojen hyödynnettävyyttä voidaan toisinaan lisätä massastabiloinnilla.

7.3.3 Erilliset läjitysalueet

Yleensä vain osa pois kaivettavista makoista voidaan hyödyntää kohteessa. Pääosa kaivumaista on sijoitettava muualle tiealueelle tai erillisille läjitysalueille. Vetelät läjitysmassat eristetään ympäristöstä pysyviksi rakenteiksi mitoitetuilla reunapenkereillä. Alueet muotoillaan lopulliseen asuunsa 1...2 vuoden kuluttua, jolloin alueella liikuminen on helpompaa massojen kuivuttua. Läjitysalueen suunnittelussa tulee huomioida läjityksen taso siten, että se istuu ympäristön korkeuskäyriin. Läjityspaikalla tarvittavaa työtä ovat ajoteiden rakentaminen ja kunnossapito, padotusten teko sekä viimeistelytyöt.

Parhaita läjitysalueita ovat notkelmat ja kallioalueet (esim. avolouhokset). Etuna kallioalueelle tai louhokseen läjitettäessä on kantava pohjamaa sekä alueen saaminen myöhemmin hyötykäyttöön (metsitys). Vanhat sorakuopat olisivat teknisesti erinomaisia läjitysalueita, mutta niiden saaminen läjityskäyttöön on ympäristösyistä usein hankalaa. Savissa olevat merisuolat saattavat pilata pohjaveden tai täyttö saattaa muodostaa esteen pohjaveden muodostumiselle.

Ympäristövaikutuksia voidaan estää suunnittelutoimenpiteillä ja myös sorakuoppien käyttö on mahdollista huolellisesti suunniteltuna ja toteutettuna.

7.3.4 Kuljetusten huomioon otto suunnittelussa

Massanvaihtotöissä kuljetukset muodostavat menetelmän kustannuksista merkittävän osan ja kuljetusyhteyksiä tulee tarkastella jo suunnittelun yhteydessä sekä läjitys- että täyttömassojen osalta. Kuljetusten merkitys maanrakennustöissä kasvaa, sillä toisaalta maanotto- ja läjitysalueet ovat yhä kauempana työkohteista ja toisaalta kaivu- ja louhintatyön yksikkökustannukset ovat alentuneet menetelmien kehittyessä.

Tavanomaiset kuljetusetäisyydet vaihtelevat muutamista sadoista metreistä useisiin kymmeniin kilometreihin. Kuljetusten saaminen suljetulle työmaa-alueelle vähentää kuljetuskustannuksia jopa 50 %. Rakennetuilla alueilla tämä ei ole useinkaan mahdollista ja kuljetukset yleisillä teillä tai niiden poikki saattavat vaikuttaa ratkaisevasti menetelmän tekniseen toteutustapaan.

Kaupunkialueella voi lyhyistäkin työmaan sisäisistä siirtoetäisyyksistä kasvaa huomattavia. Linnuntietä mitattuna sadan metrin siirrosta voi tulla kilometrien matka, mikäli joudutaan liikennöimään eritasoliittymien kautta eikä esimerkiksi moottoritien poikki kulkemista voida ajatella turvallisuussyistä. Liikenteelle aiheutuvia haittoja voidaan vähentää välttämällä kuljetuksia ruuhka-aikoina.

8 Massanvaihdon liittäminen muihin rakenteisiin ja rakenteen leventäminen

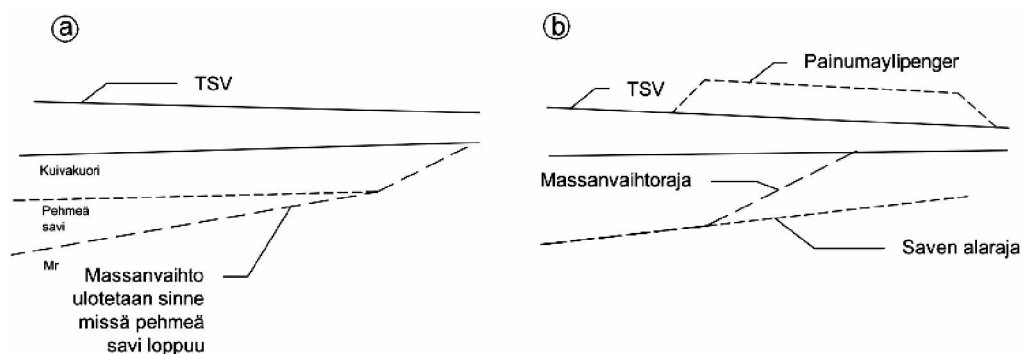
8.1 Massanvaihdon liittäminen muihin pohjanvahvistuksiin

Massanvaihto saadaan yleensä onnistuneesti liitettyksi muihin perustamistapoihin siten, että perustamistavat menevät muutaman metrin rajavyöhykkeellä päällekkäin. Penkereen alkupäässä liikutaan paljon työn aikana ja kohta häiriintyy helposti etenkin, mikäli penkereen pää ei rajoitu kantavaan maahan. Tarvittaessa massanvaihdon päät kaivetaan auki ja rakennetaan siirtymärakenteet uudestaan työn loppuvaiheessa.

Massanvaihto pengertämällä on hankalampi liittää muihin perustamistapoihin kuin massanvaihto kaivamalla. Yleissuosituksena voidaan esittää, että pohjaantäyttö tulisi ulottaa koko pehmeikköosuudelle tai siirtymä muille perustamistavoille tulisi sijoittaa matalalle pehmeikölle, jotta massanvaihto voidaan tehdä kaivamalla siirtymän alueella.

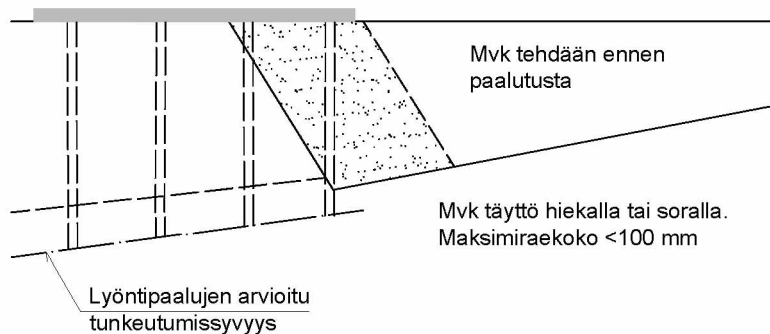
Kaivamalla tehdyssä massanvaihdossa **kaivannon alku- ja loppupäät tehdään mahdollisuuksien mukaan loivasti kiilaten** painumien tasoittamiseksi (kuva 10a). Alku- ja loppukohta kannattaa rajoittaa, mikäli mahdollista, kantavaan maahan siten, että erillisiä siirtymärakenteita kuten kevytsorakiiloja ei tarvita.

Jos siirtymä massanvaihdolta maanvaraiselle penkereelle joudutaan kustannussyistä sijoittamaan pehmeikölle, on rajakohtaa jälkipainumien pienentämiseksi usein edullista kuormittaa **painumaylipenkereellä** (kuva 10b). Ylipenger on tehokas silttipehmeiköillä ja matalilla savipehmeiköillä.



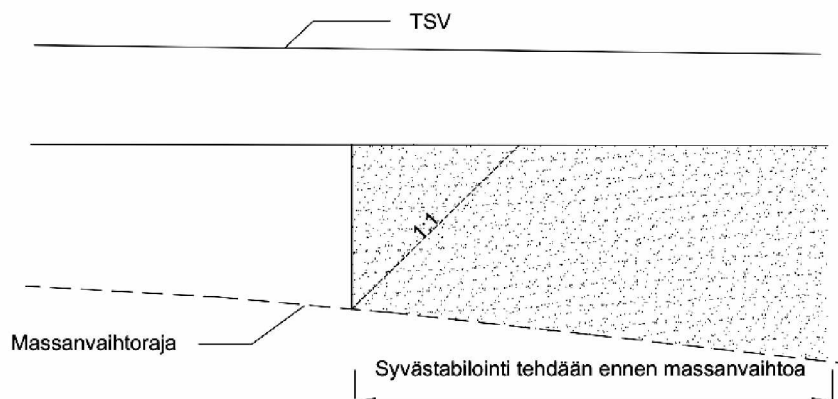
Kuva 10 Siirtyminen massanvaihdolta maanvaraiselle penkereelle.

Paalutuksen ja massanvaihdon rajakohta tehdään yleensä niin, että muutama paalurivi lyödään massanvaihtotäytön läpi. Rajakohdalla täyttömateriaalin on oltava paaluilla läpäistävää. Siirtymä massanvaihdolta paalutukselle tehdään kuvan 11 mukaisesti. Siirtymälaattaa käytetään paitsi siltojen yhteydessä, myös paalulaatan päättymiskohdassa paalulaatan rajautuessa massanvaihtoon.



Kuva 11 Siirtymä massanvaihdolta paalutukselle.

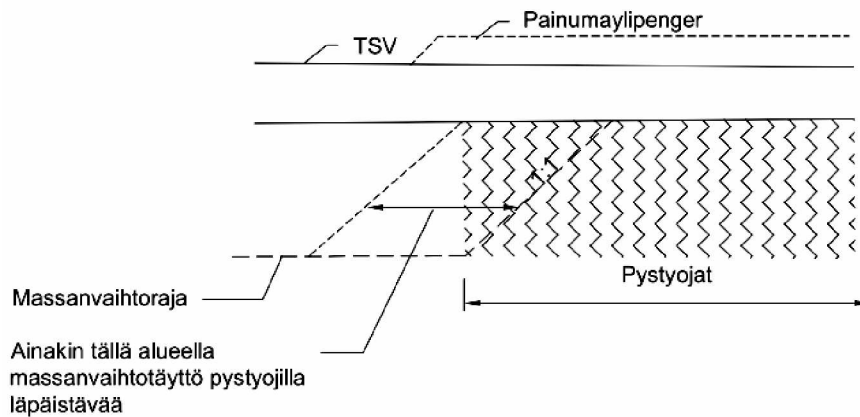
Syvästabiloinnin ja massanvaihdon rajakohta tehdään niin, että stabilointi tehdään ensin ja massanvaihtokaivannon luiska tulee stabiloituun saveen (kuva 12). Rajakohta pyritään sijoittamaan pehmeiköllä sellaiseen kohtaan, jossa kaivantoluiskan vakavuus on riittävä ilman pilaroinnin erityistä tihentämistäkin.



Kuva 12 Siirtymä massanvaihdolta syvästabiloinnille.

Kun massanvaihto ja **pystyjoitus** rajautuvat toisiinsa, tehdään tavallisesti pystyjoitus massanvaihdon jälkeen. Tällöin massanvaihtotäytteen tulee olla pystyjoilla läpäistävää.

Siirtymä massanvaihdolta pystyjoitukselle tehdään tavallisesti kuvan 13 mukaisesti siten, että massanvaihto toteutetaan ensin ja pystyjoituksen reunimmaisat rivit tehdään massanvaihtotäytön läpi. Yli kahden metrin paksuisten kitkamaatäyttöjen läpäisy pystyjoilla on vaikeaa ja edellyttää yleensä esireiän tekemistä.



Kuva 13 Siirtymä massanvaihdolta pystyjojitukselle.

8.2 Tiepenkereen leventäminen

Yhä useammin eteen tuleva ongelma on tiepenkereen leventäminen massanvaihdon varaan perustetun tien vieressä. Tien leventäminen tulee kyseeseen nykyistä teitä parantaessa esimerkiksi ohituskaistoja rakennettaessa. Vilkasliikenteisillä teillä työn suorittaminen ja työjärjestelyt voivat olla hyvinkin haasteellisia. Yleensä leventämisessä massanvaihto tehdään kaivamalla, mutta tapauskohtaisesti pengertäminen voi myös soveltua. Esimerkki vanhan pohjaantäyttöpenkereen leventämisestä on esitetty liitteessä 3 kohdassa *Vanhan penkereen leventäminen*, kuva 9.

Massanvaihtokaivannon kaivuvaiheen aikana hankaluutena voi rakenteen onnistumisen kannalta olla riittävän vakavuuden turvaaminen vanhalle tiepenkereelle. Olevan tien sortumisvaaraa voidaan pienentää vanhan penkereen reunaan lyödyllä ponttiseinällä tai suorittamalla kaivutyö lamelleittain. Pengerretettäessä täyttömassojen tunkeutuminen tavoitesyvyyteen tulee varmistaa ilman, että maan syrjäytymisestä aiheutuu vaurioita olevalle tielle.

Turvallisuussyistä on tien leventämisen tapauksissa yleensä järjestetty liikenteelle kiertotie, mutta joissakin tapauksissa liikenne on kulkenut vanhaa ajorataa pitkin työkohteen ohi. Ohittavan liikenteen järjestelyt vaikuttavat käytettävissä olevaan työskentely- ja ylipengertilaan.

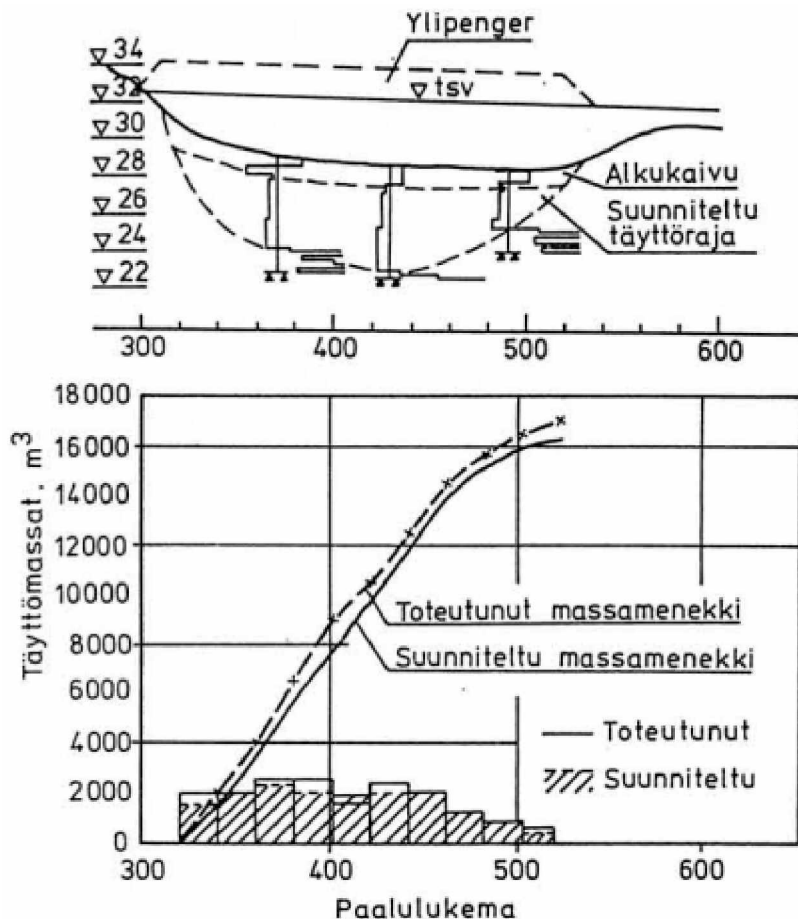
Joskus voi jo hankkeen suunnitteluvaiheessa olla tiedossa, että massanvaihtoalueelle on tulossa esim. toinen ajorata. Tällöin tulee suunnittelun yhteydessä harkita, kannattaako massanvaihto ulottaa jo ensimmäisessä vaiheessa levennystä varten. Suunnittelussa huomioonotettavia seikkoja ovat mm. hankkeen massatilanne, levennyksen toteutumistodennäköisyys ja -ajankohta, myöhemmästä leventämisestä aiheutuvat lisähankaluudet sekä valmiin tien vaurioitumisriski.

Teitä on levennetty myös tekemällä reunamassanvaihtoja. Vanhan tie kohdalla painumat ovat jo pääosin tapahtuneet, jolloin tietä voidaan leventää tai korottaa tekemällä levennysosille massanvaihto tai osittainen massanvaihto. Menetelmän käyttö on harkittava tarkkaan ja olevan tien painumakäyttäytymistä on tarkkailtava erityisesti tien poikkisuuntaisesti. Yleensä tämä ratkaisu on sovelias alempiluokkaisilla teillä.

9 Työnsuorituksen ja lopputuloksen valvonta

9.1 Materiaalimenekki

Materiaalimenekin tarkkailu on keskeinen massanvaihdon ja erityisesti pohjaantäytön seurannan menetelmä. Täyttömassojen menekkiä voidaan seurata kuvan 14 mukaisen massamenekikäyrän avulla. Toteutunut massamenekki mitataan esimerkiksi laske-
malla ajoneuvokuormat tai seuraamalla leikkausmassojen määrää. Toteutunutta massamenekkiä verrataan suunnitelman perusteella arvioituun menekkiin. Täyttöjen vaatimuksenmukaisuus osoitetaan InfraRYL kohdan 18360.5 mukaisesti.



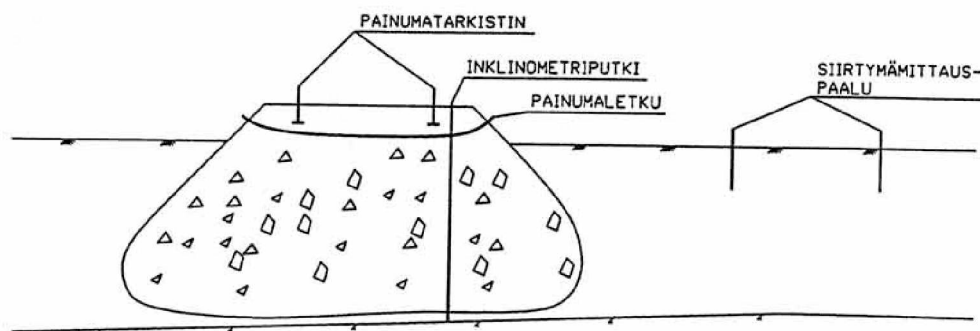
Kuva 14 Massamenekin tarkkailu massamenekikäyrällä.

Suunnitellussa ja toteutuneessa massamenekissä havaittujen erojen syyt on selvitettävä ja tarvittaessa muutettava työmenetelmää tai korjattava suunnitelmia. Arvioitua suurempaan massamenekkiin voi olla syynä mm. massojen tunkeutuminen tavoitetasoa syvemmälle, pohjatutkimuksen epätarkkuus, massojen liukuminen sivulle sivukaltevassa paikassa tai maanalaisten luiskien leviäminen suunniteltua loivemmiksi. Suunniteltua merkittävästi pienempään massamenekkiin voi olla syynä massojen jääminen tavoitetasoa ylemmäs, kairausten väliset kalliokohoumat tai luiskien jäämi-

nen liian jyrkiksi. Toteutetuissa hankkeissa on massamenekki yleensä ollut jonkun verran arvioitua suurempi.

9.2 Painumat ja sivusiirtymät

Massanvaihtopenkereiden painumia voidaan seurata painumatarkistimien, vaaitusten tai painumaletkujen (pystysuora tai vaakasuora) avulla (kuva 15). Käytettävän menetelmän valinta riippuu vallitsevista olosuhteista, kohteesta ja tarkkailujakson pituudesta. Sivusiirtymiä mitataan inklinometrillä ja maan liikkeitä penkereen ulkopuolella siirtymämittauspaaluilla tai -pisteillä.



Kuva 15 Painumien ja siirtymien seuranta massanvaihdossa pengertämällä.

Painumatarkistimet (painumatangot ja -levyt) asennetaan suunnitelmissa osoitetuihin poikkileikkauksiin. Yksiajorataisella penkereellä tarkistimia asennetaan yleensä kumpaankin reunaan ja kaksiajorataisella penkereellä lisäksi penkereen keskivivalle. Painumahavainnot tehdään välittömästi asennuksen jälkeen ja mittauksia suoritetaan aluksi tiheämmin (kuukauden ajan 2...3 kertaa viikossa) ja tämän jälkeen 1...2 kertaa kuukaudessa. Mittaustiheys määritetään kohteen ja tehtyjen havaintojen perusteella. Painumahavainnoista pidetään pöytäkirjaa sekä piirretään aikapainumakuvaaja. Mikäli kuormitusolosuhteet muuttuvat mittauspisteen ympäristössä (esim. yli-pengertä korotetaan), tehdään havainnot ennen ja jälkeen muutostyön. Painumatar-kistimien varustetaan vaurioitumisen ehkäisemiseksi törmäyssuojalla.

Penkereen painumien seuraaminen **vaaittamalla** tapahtuu alueen pinnan korkojen mittaamisella tietyllä pistetiheydellä. Tarkkailupisteiden sijainnin ei ole välttämätöntä olla täsmälleen samoja kuin aiemmilla mittauskierroksilla, sillä mittaustieto mallintamalla voidaan seurata koko tarkkailualueen pinnan tasoa. Pistetiheyden tulee olla riittävän tiheä, jotta mallin kolmioiminen onnistuu. Eri mittauskierrosten tulosten perusteella muodostettuja pintoja voidaan verrata toisiinsa ja käydä aluetta läpi poikkileikkausten avulla tai analysoimalla pintojen tasoeroja.

Painumaletkuja voidaan käyttää yhdessä muiden painumamittausmenetelmien kanssa tai yksinään. Letkulla saadaan jatkuva painumakuvaaja poikkileikkauksesta eikä se ole yhtä altis työkonien ja työmaaliikenteen aiheuttamille vaurioille kuin painumatar-kistin.

Massanvaihdolle varatut **painuma-ajat** ovat kokemukseen perustuvia arvioita ja lopullisesti vaaditut painuma-ajat selviävät työaikaisten mittausten perusteella. Tavalisimmin varatut painuma-ajat ovat olleet 6...18 kk. Suunnitelmissa vaadituista painuma-ajoista on kuitenkin joskus jouduttu tinkimään työmaalla. Ajoista on tingitty esimerkiksi tapauksissa, joissa päällystystyöt olisivat muutoin siirtyneet seuraavalle päällystyskaudelle. Suuria painumavaurioita ei ole kuitenkaan yleensä esiintynyt ja pienet vauriot on voitu korjata päällystettä paikkaamalla.

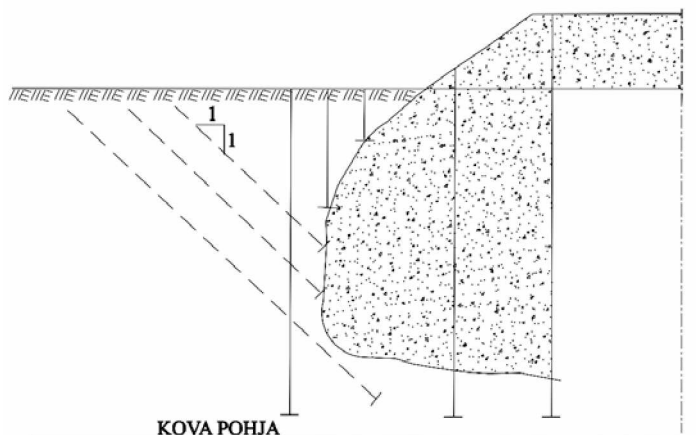
Sivusiirtymiä massanvaihtojen yhteydessä tulee seurata mittaamalla etenkin sillan päätypenkereissä, vanhojen penkereiden levennyksissä sekä sivukaltevissa paikoissa. Mittaukset suoritetaan **inklinometrillä**. Mittausten tarve ja laajuus on suunniteltava aina tapauskohtaisesti. Vaativissa ja suuren riskin omaavissa kohteissa sivusiirtymämittaukset ovat pakollisia. Vanhan penkereen viereen tehdyn massanvaihdon aiheuttamat sivusiirtymät paljastuvat yleensä asfaltin repeämisenä.

Siirtymämittauspaaluja tai -pisteitä voidaan käyttää hyödyksi tapauksissa, joissa massanvaihdon (erityisesti pohjaantäytön) läheisyydessä on rakennuksia tai muita kohteita, joille massanvaihdon sivusiirtymistä voi aiheutua haittaa. Havainnollistavat esimerkit siirtymämittauspaalujen käytöstä on esitetty liitteessä 3 kohdassa *Varottavia rakenteita läheisyydessä*, kuvat 7 ja 8.

9.3 Poikkileikkausmuoto

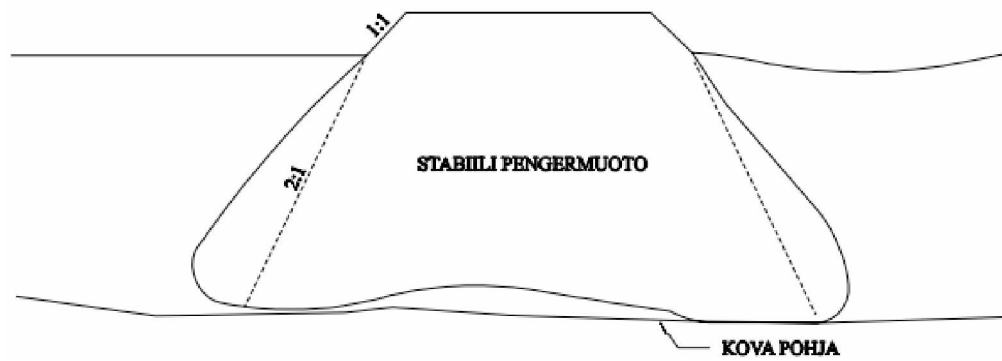
Pohjaantäyttöpenkereen poikkileikkausmuodon selvittämiseksi voidaan penkereen sivulta ja läpi tehdä tunnustelukairauksia kuvan 16 mukaisesti. Pystysuorilla ja kaltevilla kairauksilla pyritään ääni- ja tuntohavaintoihin perustuen selvittämään täytön ja pehmeän perusmaan rajapinnan sijainti. Kairausten suorittaminen häiriintyneeltä maalta penkereen sivulta on hankalaa, ja yksittäisen lohkareen erottaminen varsinaisesta penkereestä on vaikeaa ja vaatii kokemutta kairaajaa. Kairaustulosten perusteella päätetään mahdollisten korjaustoimenpiteiden (esim. sivulla räjäytysten) tarve. Käytettäessä louhetäyttöä, tehdään penkereen läpi porakonekairauksia.

Pohjaantäyttöpenkereiden tavanomaisimpia muotoja sekä niiden parantamiseksi soveltuvia menetelmiä on esitetty kuvissa 17 ja 18.

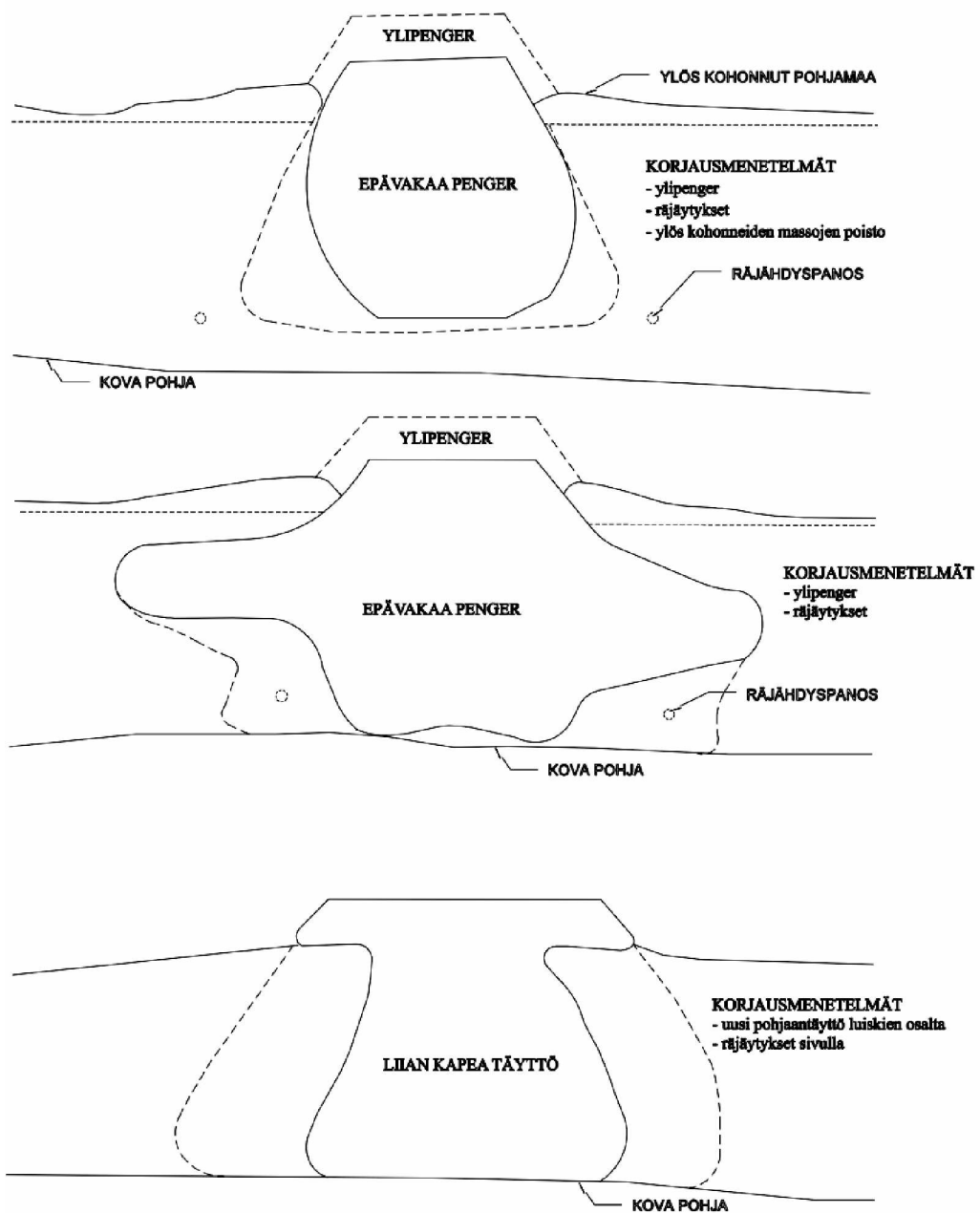


Kuva 16

Massanvaihtopenkereen muodon selvittäminen tunnustelukairauksilla.



Kuva 17 Onnistunut pohjaantäytön muoto.



Kuva 18 Pohjaantäyttöpenkereiden epäonnistuneita muotoja sekä niiden parantamiseen soveltuvat menetelmät.

Maatutkaluotausta on käytetty jonkun verran massanvaihtokohteissa. Valmiita massanvaihtopenkereitä on luodattu täyttösyydyden toteamiseksi. Ongelmana on ollut tulkinnan epävarmuus, sillä maatutka-aallot pysähtyvät louheen väliin pursunneeseen saveen. Kaivamalla tehdyissä massanvaihdoissa tätä ongelmaa ei ole, mutta toisaalta tarve luotausten tekoon on pienempi menetelmän pohjaantäyttöä paremman varmuuden vuoksi. Osittaisissa massanvaihdoissa tehdyissä luotauksissa on havaittu, että massat ovat usein tunkeutuneet tavoitetasoa syvemmälle.

10 Massanvaihdon ympäristövaikutukset

10.1 Yleistä

Massanvaihtotöissä muutetaan merkittävästi olemassa olevaa ympäristöä tie-, läjitys- ja maanottoalueilla. Ympäristövaikutukset voivat olla luonteeltaan pysyviä tai tilapäisiä. Ympäristö saattaa vaikuttaa etenkin rakennetulla alueella toimittaessa ratkaisevasti pohjanvahvistustavan valintaan.

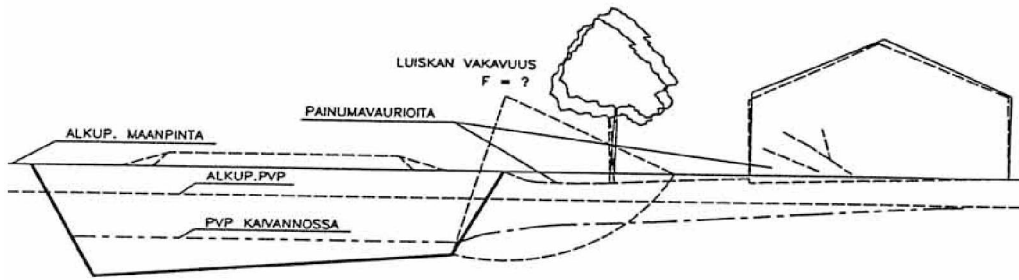
Massanvaihtotöistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia ovat mm. työnaikainen pöly ja vesien sameutuminen, luonnonmateriaalien ja alueen käyttö, muutokset pohjavesiolosuhteissa, maanotosta aiheutuvat työnaikaiset ja pysyvät vaikutukset, ympäristön liikkeet ja vauriot rakenteille sekä massanvaihtoalueiden pitkistä keskeneräisyydestä (painuma-ajat) aiheutuvat lähinnä visuaaliset haitat taajamaympäristössä.

Vuodenajoista talvi on edullinen ajankohta massanvaihtojen toteutukselle. Pakkases-ta on hyötyä luiskien pysyvyyden sekä kaivu- ja läjitystyön kannalta. Kaivumassojen ympäristöä likaava vaikutus on vähäisempää. Vetelien läjitysmassojen likaava vaikutus on suurimmillaan syyssateilla. Kesällä kuljetustelle ja ympäristöön leviävät mas-sat kuivahtavat nopeasti, mutta toisinaan ne myös pölyävät.

Savimaita kaivettaessa tulee ottaa huomioon sulfaattisavien aiheuttama hapan valun-ta. Sulfaattisavia kaivettaessa pohjaveden alapuolelta, saa niiden hapettuminen ai-kaan veden happamoitumista. Tämä on otettava huomioon läjitysalueen suunnitte-lussa, sillä hapan valunta ei saa päätyä vesistöihin.

10.2 Massanvaihtokaivannon ympäristövaikutukset

Luiskien sortuminen sekä pohjavedenpinnan aleneminen joko työn aikana (kaivannon kuivanapito) tai pysyvästi voivat aiheuttaa vaurioita ympäristön rakenteille ja raken-nuksille (kuva 19). Pieniä luiskien lohkeamia tapahtuu lähes jokaisessa kohteessa, mutta näistä paikallisista sortumista ei ole yleensä suurempaa haittaa, mikäli lähis-töllä ei ole vaurioherkkiä rakenteita. Varottavia rakenteita on tarkkailtava työn aikana ja ryhdyttävä toimenpiteisiin, mikäli muutoksia havaitaan. Täytön on edettävä heti kaivun perässä eikä kaivantoja saa jättää auki yön yli.



Kuva 19 Massanvaihtokaivannon ympäristövaikutukset.

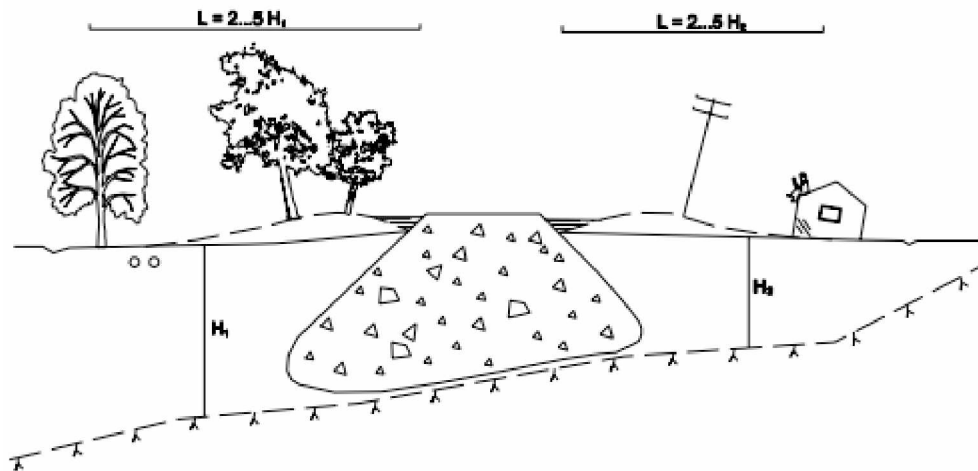
10.3 Pohjaantäyttöpenkereen ympäristövaikutukset

Ympäristövaikutukset ovat merkittävä näkökohta massanvaihdoissa pengertämällä. Ympäristöhaittoja ovat toisaalta ympäristön maan liikkeet ja rakenteiden vauriot sekä toisaalta massojen kuljetuksista aiheutuvat haitat.

Laajoilla tasaisilla pehmeiköillä ei havaittavaa ympäristön maanpinnan nousua aina esiinny. Pengertäminen kapeilla pehmeiköillä tai sivukaltevissa olosuhteissa aiheuttaa sen sijaan liikkeitä penkereen sivuilla ja edessä. Maan liikkeet tapahtuvat yleensä maanpinnan alapuolella ja tulevat esiin maan nousuna, jolloin puut voivat kallistua, rakenteet liikkua ja kuivatusolosuhteen muuttua (kuva 20). Sivulle ryöstäytymisen riski on suurin pohjasuhteissa, joissa savikerrokset rajoittuvat suoraan voimakkaasti viettävään kallionpintaan. Tällöin voidaan harkita porraslouhinnan käyttöä.

Vaikutusalueen laajuudeksi pengerryksen reunasta voidaan yleensä arvioida 2...5 kertaa täyttösyvyys, mutta joissakin tapauksissa maan liikkumista ja vaurioita on tapahtunut jopa satojen metrien päässä pengerryskohteesta. Vaikutusalueen laajuus on voimakkaasti riippuvainen pehmeikön paksuudesta ja haittoja voidaan rajoittaa merkittävästi työmenetelmillä. Alkukaivannon tulee olla mahdollisimman syvä. Ylös koivien massojen kaivua tehostamalla voidaan ympäristön liikkeitä pienentää.

Räjäytyksiä pohjaantäytön edistämiseksi tai korjaamiseksi voidaan käyttää vain ympäristön kannalta turvallisissa olosuhteissa. Tehokas räjäyttäminen vaatii samanai-kaista sytytystä eikä ympäristön kannalta turvallisemmalla momentaanisella räjäytyksellä saada aikaan tarvittavaa voimaa. Räjäytykset voidaan monesti korvata huolellisilla työmenetelmillä.



Kuva 20 Pohjaantäytön ympäristövaikutukset.

10.4 Rakenteet massanvaihtoalueella

Massanvaihtopenkereen läheisyydessä olevien **rakenteiden, putkien ja johtojen sijainti** selvitetään ennakolta, jonka jälkeen ratkaistaan käytettävä suojaustapa. Varottavien rakenteiden riskikartoitus on syytä tehdä louhintasuunnitelmaa vastaavasti. Kartoitusetäisyytenä voidaan tavallisesti käyttää 100...200 metriä penkereen reunasta. Mikäli varottaviin rakenteisiin on varauduttu etukäteen, ne eivät yleensä aiheuta ongelmia massanvaihdolle. Vaurioille alttiit rakenteet ja rakennukset voidaan suojata esim. ponttiseinin.

Etenkin pohjaantäytön yhteydessä on pengerryksen ja rakenteiden väliin syytä tehdä mittalinja, muu kiintopiste tai tarkkuusmittausverkosto, jonka avulla mahdollisia maaperän liikkeitä seurataan työn aikana. Lisäksi varottavan rakenteen nurkkapisteen tms. paikat tulee mitata ja vaaita. Ennen töiden aloittamista pidetään rakenteiden kuntoa koskeva katselmus, jossa rakenteiden omistajat ovat paikalla.

Vesi- ja viemäriputket on yleensä ohitettava tilapäisjärjestelyin kuten siirroin tai pumppaamalla. Kaapelit kaivetaan esiin ja siirretään työn ajaksi sivulle. Myös voimalinjojen suojauksesta tulee huolehtia. Salaojitettujen peltojen osalta on katkaistut salaojat tulpattava ja vaurioituneet rakenteet korjattava. Kaukolämpö- ja maakaasu-putket ovat ongelmallisia jäykän rakenteensa vuoksi. **Niiden siirrot on suunniteltava tapauskohtaisesti.**

Pohjaantäyttöihin liittyvät uudet rakenteet kuten rummut, putket, ojat jne. rakennetaan yleensä jälkikäteen penkereen rauhoituttua. Syvälle korkeiden penkereiden alle jäävät rummut voidaan rakentaa samanaikaisesti pengerryksen kanssa. Jälkipainumiin ja penkereen liikkeisiin varaudutaan ylimitoittamalla rummut. Veden kulku työn aikana hoidetaan joko ohituksin, pumppauksin tai padotuksin.

Sivu- ja laskuojien rakentaminen pohjaantäytön yhteydessä on joskus hankalaa. Ojista tulee suunnitelmissa esitettyjä syvempiä maanpinnan kohotessa ja häiriintyessä penkereen sivuilla. Joskus ojia joudutaan tekemään moneen kertaan luiskien sortuessa ojiin.

10.5 Maanotto ja kuljetukset

Sekä taloudellisista että ympäristöllisistä syistä on edullista, mikäli massanvaihdoissa käytettävät täyttömassat saadaan tielinjalta. Maanottopaikoista aiheutuviin ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa huolellisella suunnittelulla, jossa otetaan huomioon mm. työnaikainen maastonmuotoilu sekä alueen jälkihoito ja -käyttö.

Poiskaivettujen ja täytössä käytettävien massojen kuljetuksista aiheutuu haittaa liikenteelle etenkin asutuilla alueilla työskenneltäessä. Yleisillä teillä voidaan liikenteelle aiheutuvia häiriöitä välttää liikennöimällä ruuhka-aikojen ulkopuolella ja järjestämällä teiden ylityspaikkoihin joko käsiohjaus tai liikennevalot. Merkittäviä ympäristöhaittoja ovat myös vetelien massojen valuminen kuljetusteille ja ympäristöön sekä teiden pölyäminen. Erityisen likaista työ on syyssateilla. Eräänä ratkaisuna tähän on ajoneuvojen pyörien pesu työmaalla ennen siirtymistä yleiselle tielle sekä mahdollisimman tiiviiden korkealaitaisten lavojen käyttö.

10.6 Vesistöt

Vesistöalueilla pengerretäessä voivat pengermateriaalissa olevat hienoainekset johdattaa veden tilapäiseen samentumiseen yhdessä pengerryksen pohjasta irrottaman aineksen kanssa. Vesistöalueilla tehtävät massanvaihtotyöt tulee suunnitella siten, että alueen eliöstölle aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa. Esimerkiksi lintualueet tai kalakannat voivat häiriintyä työstä ja vesistöalueen muutoksista. Veden samentuminen saattaa aiheuttaa ongelmia myös puunjalostusteollisuuden vedenottamoiden läheisyydessä.

Imuruoppauskohteissa ovat ongelmina ruoppausmassojen sijoitus, veden sotkeutuminen ja saostusaltaasta valuvat ylivuotovedet. Työt tehdään useimmiten kesäaikana, jolloin veneily-, kalastus- ja muu virkistystoiminta on vilkkaimmillaan.

10.7 Pohjavedenpinnan aleneminen

Pohjavedenpinnan laskusta kaivutöiden yhteydessä voi olla seurauksena kaivojen kuivumista, painuma-, lahoamis- ja korroosiovaurioita, kasvun hidastumista sekä kasvillisuuden muuttumista. Joissakin tapauksissa vaikutus kasvillisuuteen voi olla hyödyllinenkin.

Pohjavedenpinnan alenemisesta aiheutuvien painumien varalta on selvitettävä ympäristön rakenteiden perustamistapa sekä tapauskohtaisesti päätettävä kohteiden painumaseurannasta tarvittaessa. Lähistön kaivoista selvitetään ennen töiden aloittamista veden pinta sekä tarvittaessa antoisuus ja veden laatu. Työn aikana tarkkaillaan töiden vaikutusta alueen pohjavesioloihin.

11 Työturvallisuus

Massanvaihtoa ja etenkin massanvaihdon kaivantoa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon **Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta** (2009/205), jonka luku 7 käsittelee nimenomaan työturvallisuutta maa- ja vesirakennustyössä. Yleisesti työmaalla työturvallisuus tulee taata myös **työturvallisuuslain** perusteella. Asetus ja laki määrittelevät myös suunnittelijan vastuut ja velvollisuuden taata oikealla suunnittelulla työsuorituksen turvallisuus. Massanvaihdon kaivantoja tehdään harvoin tuettuna, sillä kaivannot ovat auki melko lyhyen aikaa ja niitä tehdään lähinnä alueilla, joissa on tilaa tehdä kaivannot riittävän kaltevalla luiskalla. Samoin massanvaihdon kaivannoissa harvoin työskennellään kaivannon pohjalla ja työmaatiet ja muut kulkuyhteydet viedään riittävän kauaksi kaivannon reunasta.

VN:n asetuksen mukaan kaikista yli kaksi metriä syvemmistä kaivannoista tulee tehdä luotettava selvitys, mikäli ne suunnitellaan tehtäväksi luiskaamalla. Muussa tapauksessa kaivanto tulisi tehdä tuettuna. Mikäli massanvaihto joudutaan suorittamaan tuettuna, pitää ottaa huomioon ponttien nostossa täyttömassojen riski siirtyä, jolloin täyttö epäonnistuu. Tämä on riskinä erityisesti kapeissa kaivannoissa. Mikäli kaivannon lähistöllä on rakenteita ja kaivannosta voi olla vaaraa ympäristölle, tulee tällöin erityisesti tarkastella työn turvallisuutta ja suoritusta VN:n asetuksen valossa.

Kaivannon suunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon mm. seuraavien seikkojen vaikutus olosuhteisiin:

- maan geotekniset ominaisuudet
- kaivannon syvyys
- luiskan kaltevuus ja kuormitus
- vedestä aiheutuvat vaaratekijät (sade, kuivuminen tai routa) ja
- tärinästä aiheutuvat vaaratekijät (kaivannon yhteydessä tai läheisyydessä tehtävät työt) sekä
- raskaan ajoliikenteen vaikutus kaivannon läheisyydessä.

Erityisesti tulee asetuksen mukaan tarkastella kaivannon varmuutta kaivettaessa eloperäisiä tai hienorakeisia maalajeja.

Kaivannon stabiliteetin kannalta on otettava huomioon myös mahdollinen pohjanousu, joka lähinnä tulee kysymykseen kapeissa, tuetuissa kaivannoissa. Samoin hydraulisen murtuman riski on tarkistettava, mikäli riski tälle on olemassa. Massanvaihtokaivantoa ei suositella jätettäväksi auki kovinkaan pitkäksi aikaa, vaan täyttö tulisi suorittaa varsin pian. Päätyvaikutus voidaan ottaa huomioon lamelleittain tehtävässä kaivussa. Tällöin liukupinnan päiden muodostamalla leikkausvastuksella voi olla huomattavakin vaikutus luiskien stabiliteettiin. Myös vedenalainen kaivu lisää kaivannon stabiliteettia, mutta heikentää kaivun laatua.

Kaivantojen, etenkin yli kaksi metriä syvien, kohdalla on kaivannon reunoille suunniteltava suojakaiteet tms. rakenteet. Kulkureitit ja työmaatiet kaivannon reunoilla tulisi sijoittaa siten, että sekä maaperäolosuhteet että kaivannon syvyys otetaan huomioon. Liikenne ohjataan riittävän etäälle kaivannon reunasta ja merkitään riittävän tarkasti esim. ohjauspuomein.

12 Riskienhallinta

Massanvaihdon laaturiskit suunnittelun aikana voidaan ehkäistä riittävän tarkalla ja yksityiskohtaisella pohjatutkimuksella. Aina tämä ei ole pelkästään suunnittelijasta kiinni, vaan pohjatutkimuksia voidaan joutua karsimaan aikataulusyistä tai tilaajan vaatimuksesta. Maakerrosten vaihtelut eivät kuitenkaan aina käy tarkasti selville tarkasta pohjatutkimuksesta huolimatta ja usein työn aikana kaivumäärät voivat hieman poiketa suunnitellusta.

Tehtäessä massanvaihto pohjaantäyttönä, varteenotettavana riskinä on pohjaantäytön epäonnistuminen. Riskiä voidaan pienentää huolellisilla työtavoilla sekä tarkalla ympäristöseurannalla.

Massanvaihdon jälkipainumat tulisi ottaa huomioon jo rakennusaikana riittävällä painuma-ajalla. Osa painumista voidaan jättää kunnossapidolle, mutta kunnossapito ja muut korjaavat toimenpiteet eivät välttämättä riitä, mikäli painumat ovat suuria tai massanvaihto on osittain epäonnistunut.

Massanvaihdosta on riskinä useita lähiympäristöön kohdistuvia ympäristöriskejä (kts. luku 10 *Massanvaihdon ympäristöriskit*). Savikerrosten korvaaminen hyvin vettä johdettavalla täyttömateriaalilla voi muuttaa alueen pohjavesiolosuhteita ja tämä tuleekin ottaa huomioon etenkin pohjavesialueilla. Pohjaveden työnaikainen alentaminen kaivannossa ja muut muutokset pohjavedessä voivat myös aiheuttaa painumia lähialueilla rakenteille ja maanpinnalle.

Tarvittavien lupien saanti ja käsittelyajat ovat varsin todennäköisiä riskejä massanvaihtokohteissa. Yksinkertaisin riskin torjunta on lupien hakeminen ajoissa. Urakan aikana voi myös tulla tarve uusille luville, joita ei ole voitu ennakoida suunnittelussa.

Kustannusriskiä voi aiheuttaa myös työn aikana löytyvät pilaantuneet maat. Näistä kertyy ylimääräisiä kustannuksia ja rakentamisen aikataulu saattaa vaarantua. Ylimääräisiä kustannuksia saattavat aiheuttaa mm. kaatopaikkamaksut sekä mahdollisesti pidentyvät kuljetusmatkat, koska vaatimuksia täyttäviä läjitys- ja kaatopaikka-alueita ei välttämättä ole lähialueilla saatavilla.

13 Suunnitelma-asiakirjat ja suunnitelmien esitys

Massanvaihtoa koskevat laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1: Väylät ja alueet – julkaisussa. Piirustusten ja muiden suunnitelma-asiakirjojen tulee noudattaa yhtenäistä esitystapaa varsinkin suurissa hankkeissa, joissa suunnittelu on jaettu useampaan osaan.

Kohteen tapauskohtaiset erityispiirteet esitetään työkohtaisessa työselostuksessa, joka täydentää yleisiä työselostuksia. Liittyvien ja varottavien rakenteiden osalta tehdään tapauskohtaiset detaljisuunnitelmat. Muita esitettäviä suunnitelma-asiakirjoja ovat mm. työ- ja laatusuunnitelmat, ympäristölupa- ja turvallisuusasiakirjat ja mahdolliset räjäytyssuunnitelmat.

Suunnitelma-asiakirjoissa esitettäviä asioita ovat mm.:

- työjärjestys ja työohjeet
- kaivutaso ja suunnitelmien tulkinta sekä kaivuluiskien kaltevuudet ja kaivannon tuenta
- kaivumenetelmät ja -vaiheet
- ylöskohonneen maan poisto
- täyttömateriaalit
- täyttötavat ja tiivistysvaatimukset
- painuma-ajat
- painumien ja siirtymien tarkkailumittaukset sekä räjäytyksiä käytettäessä tärinämittaukset
- painumapenkereet
- varottavat rakenteet ja johdot ja niiden tarkkailumittaukset sekä suojaaminen
- ympäristön tarkkailu, pohjaveden hallinta
- räjäytykset
- laaduntarkkailu
- työturvallisuusasiat.

Suunnittelijan ja rakennusosapuolen yhteydet ovat tärkeitä työkohtaisessa suunnittelussa, jotta käytännön rakentamisesta saadut kokemukset ja rakentajan työmenetelmiä koskevat tarpeet voidaan ottaa huomioon. Suunnittelussa tulee välttää epävarmoja oletuksia, esimerkiksi talvipakkasten hyväksikäyttöön ei pitäisi turvautua etukäteen.

Kirjallisuus

Liikennevirasto. Tiepenkereiden ja –leikkausten suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 09/2010. Helsinki 2010.

Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita. Osa III. Tutkimustöiden suunnittelu ja järjestely. TVH 2.660. Helsinki 1970.

Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita. Osa IV. Geoteknillinen suunnittelu ja perustamismenetelmät. TVH 2.660. Helsinki 1972.

Nedpressning av vägbank. Särtryck ur verksamhetsboken. Statens vägverk TU139.1979.

Rakennustieto. InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1: Väylät ja alueet. Helsinki 2010.

Pohjarakennussuunnitelmat, esitystapa. Julkaisu TIEL 703435. Helsinki 1990.

Tiehallinto. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. TIEH 2100057-v-08. Helsinki 2008.

Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormitusten menetelmäkuvaukset. Liikenneviraston ohjeita 06/2011. Helsinki 2011.

Viljanen, J., Korhonen, O. Pudotustiivistys Saukonpaaden täyttöalueella. Geotekninen osasto. Julkaisu 85. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto 2002.

Vägverket TK Geo Publ 2009:46

Kalustokuvaukset

Kaivukalusto

Kaivutyö tehdään yleensä hydraulisella kuokkakauhalla varustetulla kaivinkoneella (kuva 1). Kuokkakauhakoneella on suhteellisen hyvä ulottuma syvyys suunnassa ja matalan penkereen päältä kaivamalla voidaan massanvaihto ulottaa jopa 6...7 metrin syvyyteen, mikäli luiskien pysyvyys ei aiheuta ongelmia. Myös pistokaivua voidaan käyttää. Ulottuvuutta voidaan lisätä jatkamalla puomia, mutta tällöin kaivukapasiteetti pienenee. Turpeen poistossa voidaan käyttää suurempaa kauhakokoa.

Rakennusnosturi-kourakauhayhdistelmällä on suuri ulottuma sekä vaaka- että pystysuunnassa. Hydraulisella kauhalla saadaan puristettua ylimääräinen vesi pois. Kourakauhalla päästään yli 10 metrin kaivussyvyyteen, mutta käyttöä rajoittaa kallis hinta. Menetelmä soveltuu parhaiten paikallisiin erikoiskohteisiin (esim. kapeat ja syvät kaivannot, suuren ulottuman tarve).

Aikaisemmin massanvaihtotöissä käytettiin mekaanisia laahakauha- eli vetokaivukoneita. Laahakoneita ei ole enää juuri käytössä eikä ammattitaitoisia kuljettajia ole saatavilla. Laahakauhalla on hyvä ulottuvuus vaakasuunnassa (useita kymmeniä metrejä), mutta suuri kaivussyvyys ei ole mahdollinen. Menetelmä häiriinnyttää ympäröivän saven ja ottaa mukanaan huomattavan määrän vettä, mikä lisää huomattavasti ylösnostettavien massojen määrää.

Veteen pengerrettäessä ja teoriassa kuivallakin maalla, mikäli vettä on saatavilla, voidaan harkita imuruoppaajan käyttöä, mikäli poistettavien massojen määrä on tarpeeksi suuri ja läjityskysymykset voidaan ratkaista (läjitysetäisyys suurimmillaan noin 1,5 km). Massanvaihtoja imuruoppaamalla ei ole juuri tehty tiehankkeissa. Vesialueiden likaantuminen ja sopivien läjitysalueiden puute estävät käytännössä menetelmän laajemman soveltamisen. Joissakin pienissä kohteissa on massojen poistamiseen vedestä käytetty kaivinkonetta sekä betonipumppua.



Kuva 1 Hydraulinen kuokkakaivinkone

Kuljetuskalusto

Yleisillä teillä kuljetukset tehdään useimmiten tavallisilla kuorma-autoilla. Suljetuilla työalueilla dumpperit (kuva 2) ovat usein edullisempia suuremman kantavuutensa ja maastokelpoisuutensa vuoksi. Uudella dumpperikalustolla päästään taloudellisiin kuljetuskustannuksiin aina 5...10 km etäisyydelle saakka, vanhoilla dumppereilla maksimietäisyys on 2...3 km.

Uusien dumpperien kuljetusnopeus vastaa normaaleja kuorma-autonopeuksia. Läjittävien massojen kuljetustapaa valittaessa on otettava huomioon vetelien massojen vaatima kalusto. Lavan tulisi olla mahdollisimman korkea ja hyvin suljettu. Dumppereissa yleensä käytettävä lavamalli soveltuu paremmin karkeiden kuin vetelien läjitysmassojen kuljetuksiin. Kuljetusteillä on pyrittävä välttämään jyrkkiä nousuja.



Kuva 2 Dumpperi

Levitys- ja tiivistyskalusto

Massojen levitys sekä täyttöpäässä että läjitysalueilla tapahtuu useimmiten telapuskukoneella (kuva 3). Myös kaivinkonetta ja pyöräkuormaaajaa on käytetty. Puskukoneen taloudellinen siirtomatka on enimmillään 100 metriä.

Massanvaihtojen tiivistykseen on tarvittaessa käytetty hydraulisia tärjyjä sekä pudotustiivistystä.

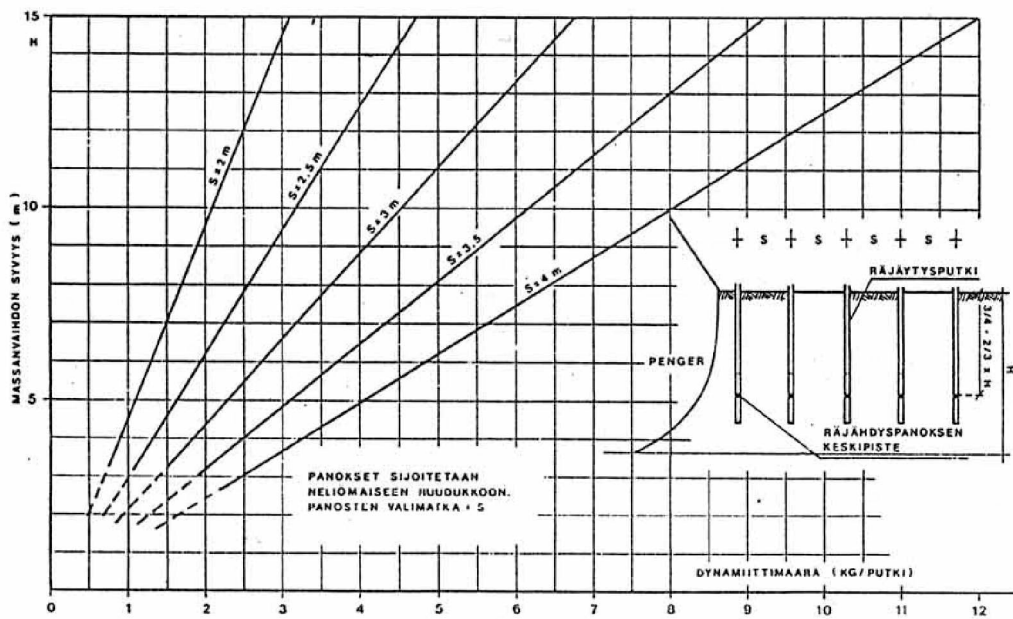


Kuva 3 Telapuskukone

Räjäytykset

Liitteen kuvat ja sisältö on koostettu E. Kankareen artikkelista *Pengerräjäytyksistä* Pioneeriupseeri-lehdessä 1970:1.

Pohjaantäytössä voidaan käyttää apuna räjäytyksiä joko pehmittämällä maaperä etukäteisräjäytyksin (luku 6.1.5) tai toteutetun penkereen korjaamiseen tekemällä räjäytyksiä penkereen sivuilla (kuva 2). Penkereen alla räjäytyksiä on käytetty harvoin. Kuvassa 1 on esitetty havainnollinen mitoitusnomogrammi panosten sijoittamisesta penkereen edessä räjäyttäessä eli esipehmentämisen mitoittamisessa.



Kuva 1 Räjähdyspanoksen mitoitusnomogrammi panosten sijoituskavio räjäytettäessä penkereen edessä.

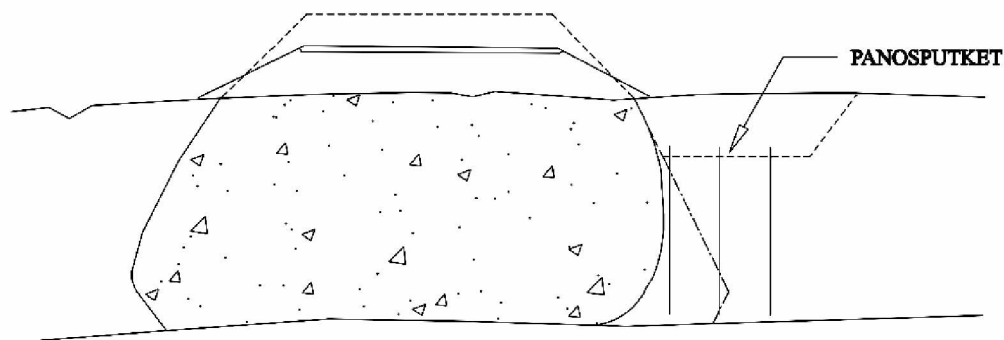
Muotoräjäytykset penkereen sivulla

Penkereen reunojen painumisen ja leviämisen edistämiseksi suunnitelmassa esitettyyn muotoon tarvitaan joissakin tapauksissa räjäytyksiä penkereen sivuilla. Penkereen muoto pyritään saamaan niin vakaaksi, ettei sivuilla tapahtuva painuminen aiheuta vaurioita ajoradan pinnassa. Usein penkereen maanalainen osa jää liian pysyksi ja helmojen alle jää kokoonpuristuvaa maata.

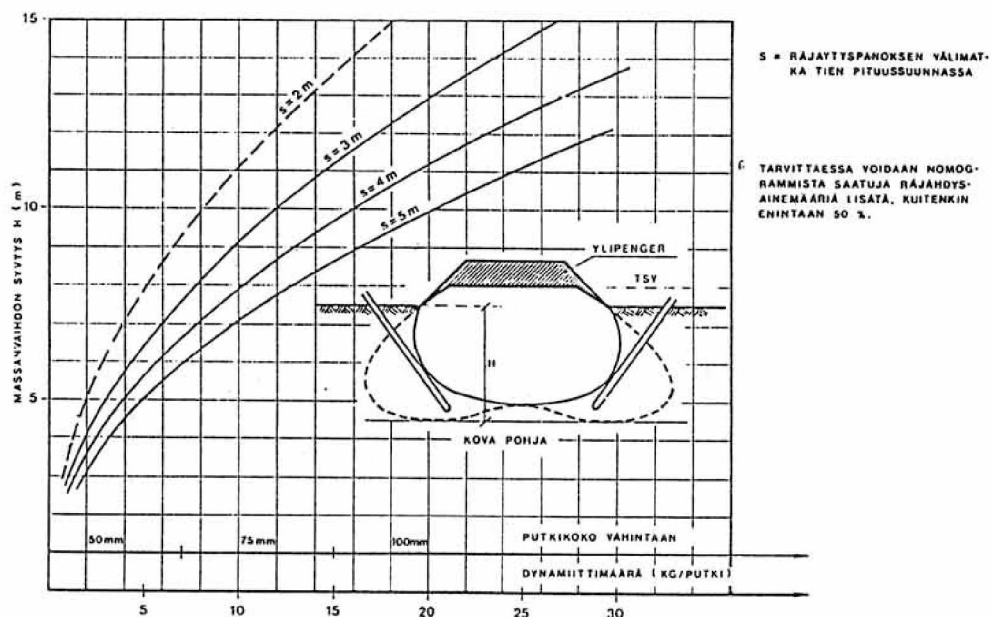
Penkereen muotoa voidaan korjata yhdellä tai useammalla penkereen sivulla suorite- tulla räjäytyksellä. Räjähdyspanokset työnnetään alapäästään suljetuissa putkissa mahdollisimman syvälle epästabiliin luiskan juuren alle putkien välin ollessa tien pituussuunnassa 2...5 metriä. Penkereen tai ainakin sen reunojen on oltava ylipenke- reen kuormittama. Tarvittava räjähdysainemäärä riittävän sysäysenergian aikaan- saamiseksi on 100...150 g maakuutiometriä kohti. Räjähdyspanoksen mitoitus on esi- tetty kuvassa 11. Kerralla räjäytettävän penkereen pituus vaihtelee tavallisesti 20...100 m.

Räjähdyksen vaikutuksesta penkereen reunat painuvat ja jälkipainumien vähentämiseksi ovat painumat räjäytysten jälkeen korjattava lisäämällä ylipenkereen korkeutta painumia vastaavalla määrällä. Räjähdyksiä saatetaan joutua suorittamaan useita kertoja halutun pengermuodon saavuttamiseksi.

Edellä kuvatun kaltaisella menetelmällä voidaan räjäytyksiä suorittaa myös penkereen edessä, mikäli penkereen kärjen alle jää pehmeää perusmaata, jota ei voida poistaa penkereen päältä kaivamalla. Näin voi tapahtua varsinkin pehmeikköjen päissä ylämäkeen pengerrettäessä sekä pengerten kohdatessa keskellä pehmeikköä tapauksessa, jossa työ on aloitettu samanaikaisesti pehmeikön molemmilta reunoilta.



Kuva 2 Räjähdykset penkereen sivulla.

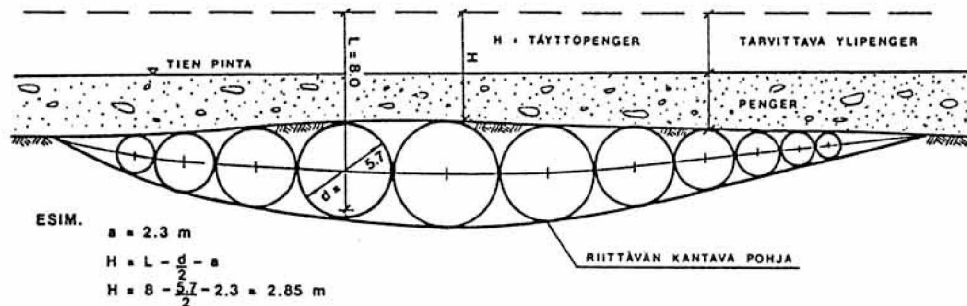


Kuva 3 Räjähdyspanosten mitoitusnomogrammi räjäytettäessä penkereen si-
vuilla.

Korjausräjähdykset penkereen alla

Räjähdyttäminen penkereen alla soveltuu käytettäväksi silloin, kun vanha tiepenger halutaan upottaa riittävän kantavaan pohjaan tai kun pohjaantäyttöpenger on jäänyt kellumaan pehmeän pohjamaan varaan. Parhaiten menetelmä soveltuu kapeissa penkereissä. Paras menetelmä on tällöin ylikuormitus ja voimakkaiden panosten sijoitta-

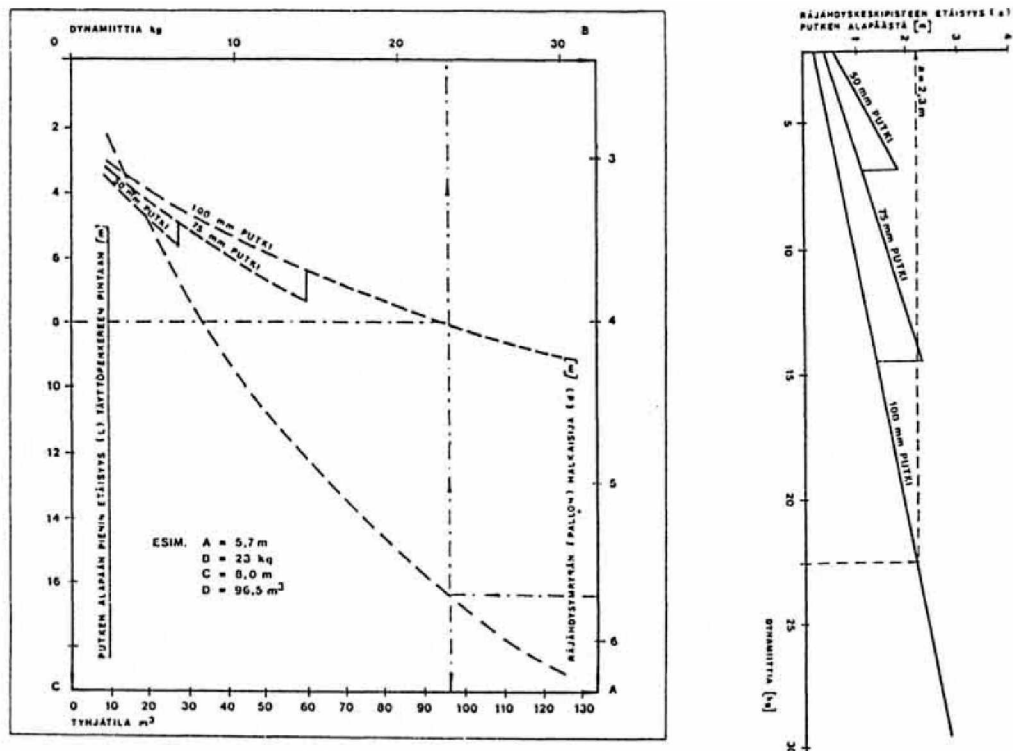
minen penkereen alle. Pohjamaa saadaan tällöin häirittyä edullisimmassa kohdassa ja voidaan käyttää hyväksi koko penkereen liike-energiaa sen noustessa räjäytyksen voimasta ylöspäin.



Kuva 4 Räjähdyspanosten sijoittaminen räjäytettäessä penkereen alla. Räjähdysskeskipisteiden määrittäminen.

Menetelmän käytön edellytyksenä on, että ylipengervaiheen vakavuuden on oltava vähintään $F > 1,1$. Mikäli penger sortuu ennen räjäytystä, jäävät räjähtämättömät panokset maahan.

Panokset mitoitetaan kuvien 4 ja 5 mukaisesti. Räjähdyssaineputket joko asennetaan ennen pengermassoja ajaa tai lyödään penkereen läpi. Mikäli läpilyöminen ei onnistu, voidaan putket lyödä penkereen sivuilta viistoon penkereen alle. Tarvittava räjähdysainemäärä on noin 150 g syrjäytettävää maakuutiometriä kohti.



Kuva 5 Räjähdyspanoksen mitoitusnomogrammi räjäytettäessä penkereen alla. Räjähdyspanoksen mitoitus ja räjähdyskeskipisteen etäisyys putken alapäästä.

Räjäytysten käyttökelpoisuus

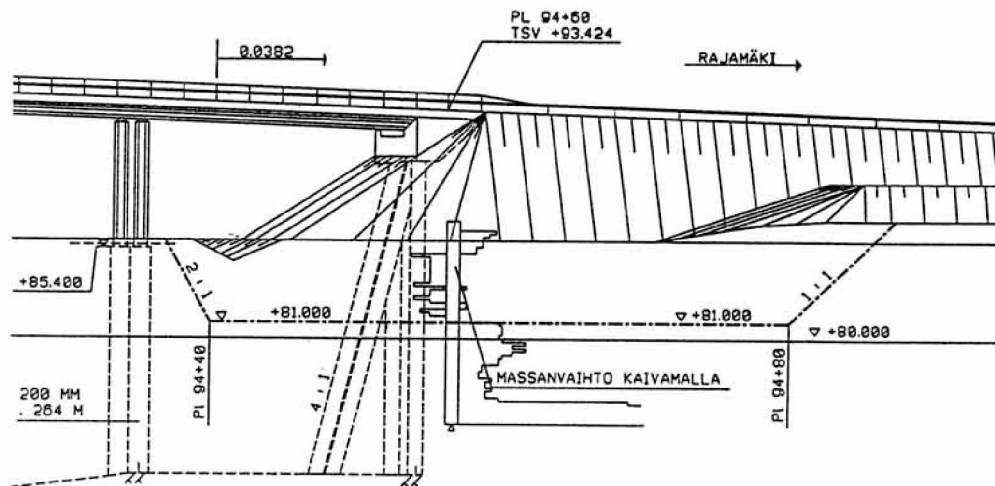
Ennen räjäytystöiden aloittamista tehdään räjäytyssuunnitelma ja haetaan asianmukaiset luvat työn suorittamiseen. Mikäli ympäristössä on vaurioalttiita rakenteita, on tehtävä riskianalyysi, jonka perusteella määrätään mm. sallitut tärinöiden raja-arvot ja tärinämittarit seurantakohteissa sekä katselmoitava kyseisten rakennusten kunto ennen ja jälkeen räjäytystöiden.

Räjäytysten suunnittelu vaatii huolellisuutta ja joskus niiden avulla saavutettu hyöty on jäänyt vähäiseksi. Syvissä pohjaantäytöissä räjäytyksillä voidaan varmistaa haluttu täyttösyvyys. Penkereen helman muotoa ei ole aina onnistuttu parantamaan. Penkereen alla ei ole juurikaan räjäytetty johtuen panosputkien asentamisen vaikeudesta sekä ennenaikaiseen sortumiseen liittyvistä riskeistä. Eräänä räjäytysten turvallisuuden liittyvänä ongelmana on myös panosputkien sinkoutuminen ylös maasta räjäytyshetkellä. Joissakin kohteissa on räjäytykset tehty ilman panosputkia.

Esimerkkejä toteutetuista kohteista

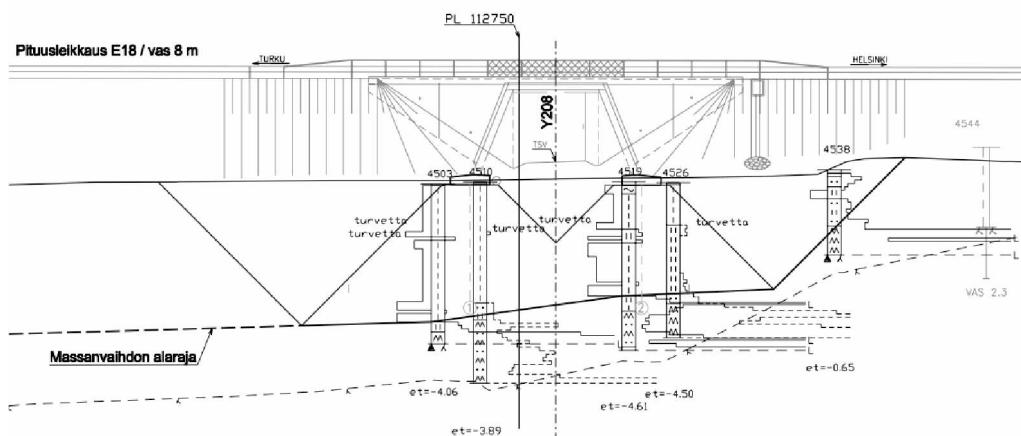
Massanvaihto kaivamalla kovaan pohjaan

Massanvaihdesta kaivamalla on esimerkkinä kuvan 1 sillan tulopenger. Kohde on Rajamäen risteys- ja ylikulkusilta Nurmijärven-Rajamäen maantiellä. Massanvaihto-kaivannon syvyys on noin 5 metriä. Silta on perustettu kaivinpaaluilla kallion varaan.



Kuva 1 Massanvaihto kaivamalla. Rajamäen risteys- ja ylikulkusillan tulopenger.

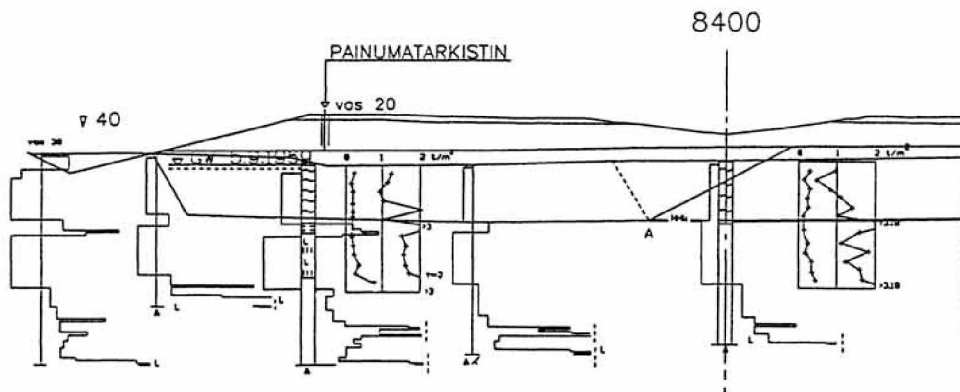
Massanvaihdesta kaivamalla sillan perustamisessa on esimerkkinä kuvan 2 alikulkukäytävä. E18 välillä Muurla-Lohja rakentamisen yhteydessä toteutettu Lempoonsuon alikulkukäytävä on perustettu kovaan pohjaan kaivamalla tehdyn massanvaihdon varaan. Kaivannon syvyys on noin 8 metriä. Massanvaihdon tiivistäminen tehtiin pudotustiivistämällä. Tienpenger on perustettu massanvaihdon varaan.



Kuva 2 Massanvaihto kaivamalla. Lempoonsuon alikulkukäytävä ja tienpenger.

Osittainen massanvaihto

Osittaisesta massanvaihdosta on esimerkkinä kuvan 2 kohde Helsingin–Lahden moottoritietä väliltä Tattariharju–Järvenpää Vaaralan eritasoliittymän eteläpuolelta. Noin kolmen metrin paksuisen turvekerroksen alapuolella on metrin paksuinen hiekka- ja silttikerros. Sen alla on 3...4 metriä savea, jonka leikkauslujuus vaihtelee välillä 10...20 kPa. Massanvaihto on toteutettu kaivamalla turvekerros pois ja pengertäen tehdy vaiheittain pengertäen turpeen alla olevien lujempien maakerrosten varaan.



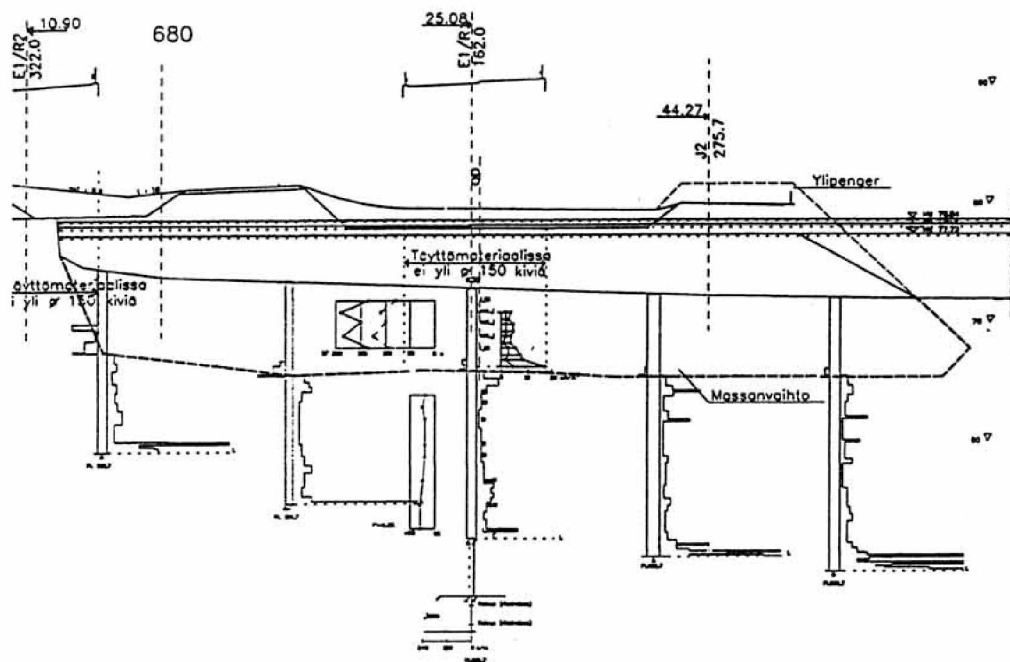
Kuva 3 Osittainen massanvaihto kaivamalla. Helsinki–Lahti moottoritie välillä Tattariharju–Järvenpää.

Pohjaantäyttö

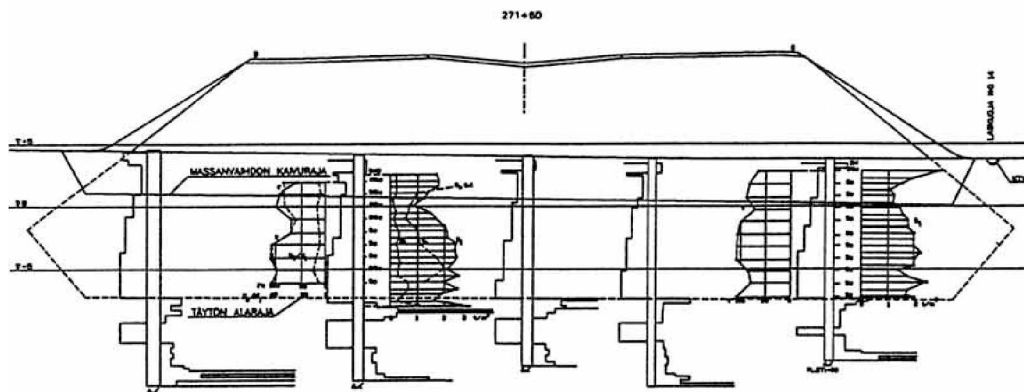
Esimerkkinä pohjaantäytöstä on kuvassa 3 esitetty Jyväskylän Rantaväylän Lutakonranta. Rakennuspaikalla oli vettä 2...6 metriä, jonka alla 4...9 metriä pehmeää savea, liejua ja silttiä. Pehmeät kerrokset ruopattiin kourakauharuoppaajalla, joka työskenteli ponttoonilta penkereen edessä. Täyttömateriaali oli louhetta (500 000 m³), paitsi kaivinpaalutetun sillan kohdalla soraa. Työ onnistui suunnitellusti ja jälkipainumat lakkasivat alle 61 kuukaudessa. Tunkeutumissyvyyttä tarkkailtiin porakonekairauksin.

Esimerkkinä leveästä massanvaihtopenkereestä on kuvassa 4 esitetty kohde Helsinki–Porvoon moottoritietä välillä Boxby–Drägsby. Pohjasuhteiltaan kohde on pohjaantäytön onnistumisen kannalta rajamailla pohjamaan ollessa sitkeää savea. Kohde on kuitenkin toteutettu onnistuneesti. Pohjaantäyttösyvyys on noin 12 metriä.

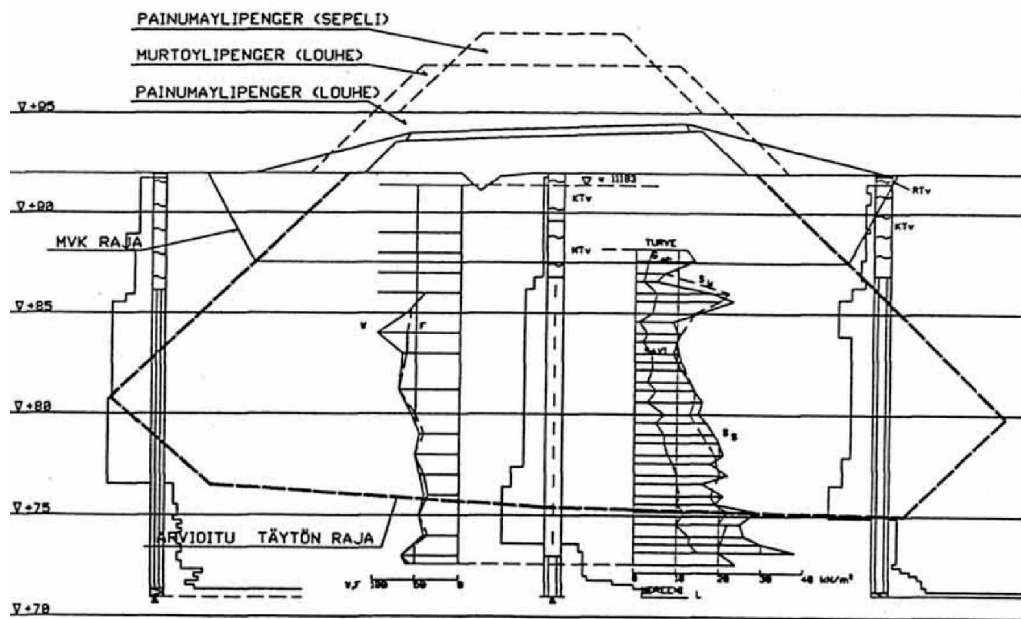
Syvästä massanvaihdosta on esimerkitapauksena kuvassa 5 esitetty Sakarasuon pohjaantäyttö. Kohde sijaitsee moottoriliikennetiellä Mäntsälä–Lahti välillä Levanto-Viljaniemi. Rakennuspaikalla on noin 4...5 metrin paksuinen turvekerros, jonka alla on syvimmillään 15 metriä savea. Saven suljettu leikkauslujuus vaihtelee 10...20 kPa. Täyttösyvyys on noin 18 m ja kohde on syvimpiä TIEL:n toteuttamista. Täyttö rakennettiin louheesta louhemurtoylipengertä käyttäen. Korkeana painumaylipenkereenä pidettiin murskevarastoa.



Kuva 4 Massanvaihto pengertämällä. Jyväskylän Rantaväylä.



Kuva 5 Leveä massanvaihto moottoritieellä Helsinki–Porvoo välillä Boxby–Drägsby.

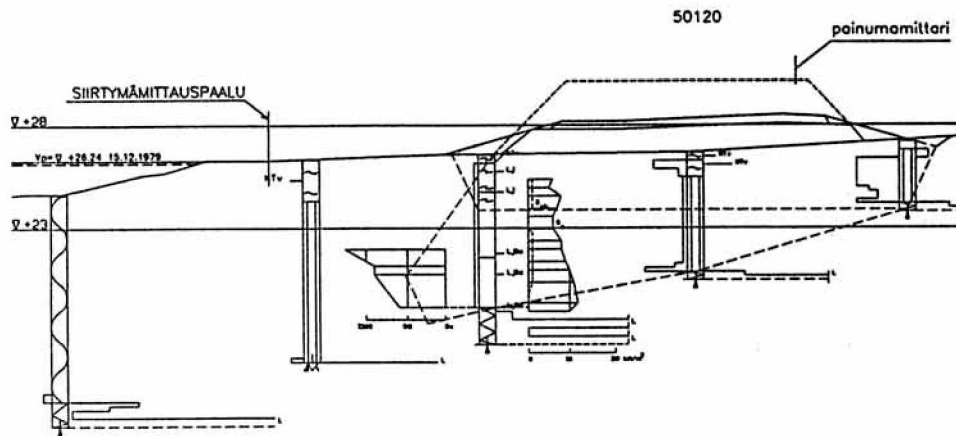


Kuva 6 Massanvaihto Sakarasuolla moottoriliikennetiellä Mäntsälä–Lahti.

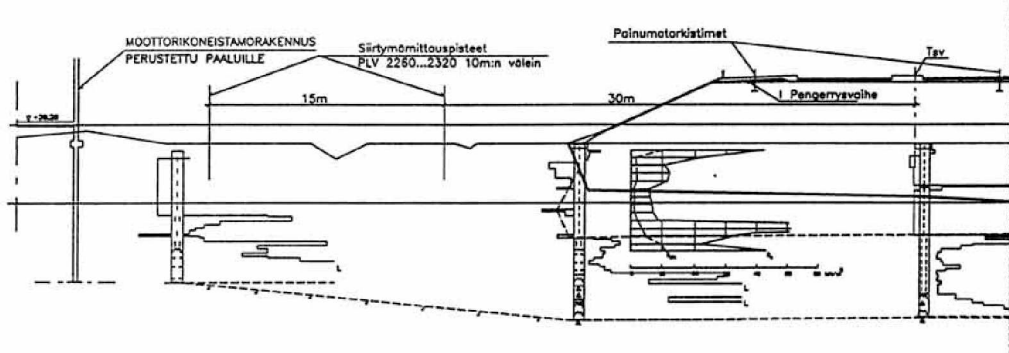
Varottavia rakenteita läheisyydessä

Kuvassa 6 on esitetty pohjaantäyttökohde moottoriliikennetieltä Porvoo–Koskenkylä. Penger sijaitsee lähimmillään noin kymmenen metrin päässä suojeltavasta Tammiot-räsketin rannasta. Pohjaantäyttösyvyys on suurimmillaan noin 8 metriä. Pohjasuhteet ovat sivukaltevat varottavaan lammen rantaan päin ja saven leikkauslujuus vaihtelee 5...12 kPa siipikairalla mitattuna. Rannan liikkeitä seurattiin työn aikana siirtymämittauspaaluin. Työ toteutettiin etukäteen varsin vaikean näköisessä paikassa onnistuneesti ja ranta säilyi alkuperäisessä muodossaan.

Kuvassa 7 on esimerkki aran rakenteen läheisyydessä tehtävästä massanvaihdesta pengertämällä. Kohde sijaitsee Mt 137 välillä Tammisto–Valkoisenlähteen tie päätietä risteävällä Niittytiellä. Paaluille perustettu koneistamorakennus on noin 30 metrin päässä penkereen reunasta. Pohjasuhteet paikalla ovat lievästi rakennuksesta pois-päin viettävät ja saven leikkauslujuus vaihtelee 6...12 kPa. Pohjaantäyttösyvyys on noin 6 metriä, josta alkukaivannon osuus noin 3...4 metriä. Rakennuksen ja penkereen välille rakennettiin siirtymämittauspisteverkosto. Työ onnistui eikä rakennus vaurioitunut.



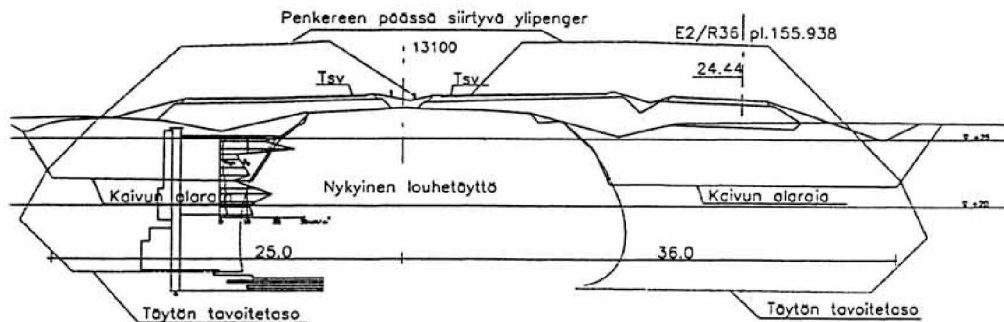
Kuva 7 Massanvaihto moottoriliikennetiellä Porvoo-Koskenkylä Tammiotärske-tin kohdalla.



Kuva 8 Massanvaihto pengertämällä paalutetun rakennuksen läheisyydessä.

Vanhan penkereen levittäminen

Esimerkkinä vanhan pohjaantäyttöpengerin levittämisestä on kuvan 8 kohde Kehä III:lta Vaaralan liittymästä. Vanhaa pengertä levennettiin penkereen molemmiin puolin pohjaantäyttösyvyyden ollessa noin 12 metriä. Vanhan penkereen vieressä tehtävä alkukaivanto on toteutettu 4...5 metrin syvyydenä. Penkereen päässä on käytetty noin 4 metrin korkuista siirtyvää ylipengertä. Työ on onnistunut suunnitelmien mukaisesti.



Kuva 9 Vanhan pohjaantäyttöpengerin levittäminen. Kehä III:n parantaminen Vaaralan liittymässä.

